



(19) KG (11) 377 (13)

C2 (46) 31.12.2008

ГОСУДАРСТВЕННОЕ АГЕНТСТВО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ (КЫРГЫЗПАТЕНТ)(51)⁸ B61F 3/00 (2006.01)
B22F 9/16 (2006.1)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ****к патенту Кыргызской Республики**

(21) 20050020.1

(22) 05.01.2005

(46) 31.12.2008, Бюл. №12

(71)(73) Дженерал Электрик Компани (US)

(72) ВУДФИЛД, Эндрю, Филип, ШАМБЛЕН, Клиффорд, Эрл, ОТТ, Эрик, Аллен (US)

(56) Заявка WO 00/76698, кл. B22F 3/00, B22F 3/11, B22F 3/22, C21B 13/00, C22B 5/00, 2000;

Заявка WO 99/64638, кл. C22B 21/00, C22B, 34/12, C23C 8/40, 1999;

Патент RU №2152449, кл. C22B 5/16, B22F 9/28, C22B 5/04, 2000;

А. с. SU №1243612, кл. B22F 9/18, B22F 9/20, C22B 34/12, 1986

(54) Способ получения изделий из металлических сплавов без плавления

(57) Изобретение относится к получению изделий из металлических сплавов, в частности, из титановых сплавов. Получают составную смесь путем смешивания химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника титана и химически восстановимого неметаллического соединения предшественника легирующего элемента, проводят химическое восстановление составной смеси до металлического сплава без плавления указанного сплава. Для получения металлического изделия полученный металлический сплав уплотняют без плавления металлического сплава и без плавления уплотненного металлического изделия. Легирующий элемент предпочтительно термофизически несовместим при плавлении с титаном. Таким способом могут быть также получены изделия из алюминия, никеля, магния или железа. Способ характеризуется снижением затрат, связанных с плавлением, контролем атмосферы или обеспечением вакуума в плавильной печи. Полученные изделия не имеют литой микроструктуры с крупным размером зерен и внедренными дефектами литья, а также инородных включений. 6 н. з. и 17 з. п. ф-лы, 3 ил.

Данное изобретение относится к получению изделий из металлических сплавов, таких как изделия из титановых сплавов, без плавления.

Изделия из металлических сплавов получают многими способами, в зависимости от характера изделия.

В соответствии с одним из общих подходов металлосодержащие руды очищают для получения расплавленного металла, который затем разливают. Руды металлов очищают с целью удаления или снижения количества второстепенных элементов. Состав очищенного металла также может быть модифицирован путем добавления желательных легирующих элементов.

Указанные стадии очистки и легирования могут быть осуществлены во время первоначального процесса плавления или после отверждения и повторного плавления.

После получения металла желаемого состава, при некоторых составах сплавов, он может быть использован после отливки (т.е. литейные сплавы) либо дополнительно обработан для получения металла желательной формы при других составах сплавов (т.е. деформируемые сплавы). В любом случае, он может быть подвергнут дальнейшей обработке, такой как термическая обработка, механическая обработка, нанесение поверхностных покрытий и тому подобное.

Получение металлических сплавов может быть осложнено различиями термофизических свойств металлов, используемых для получения сплавов. Взаимодействия и реакции, обусловленные указанными термофизическими свойствами металлов, могут дать нежелательные результаты. Титан, в большинстве случаев необходимо плавить в вакууме из-за его способности взаимодействовать с кислородом и азотом воздуха. При разработке настоящего изобретения авторы обнаружили, что необходимость плавки в вакууме затрудняет использование некоторых легирующих элементов из-за относительного давления их паров в условиях вакуума. Разница в давлении паров является одним из термофизических свойств, которые должны учитываться при легировании титана. В других случаях легирующие элементы могут быть термофизически несовместимыми с расплавленным титаном по иным термофизическим характеристикам, таким как температура плавления, плотность, химическая реакционная способность и тенденция сильных бета стабилизаторов к сегрегации. В некоторых случаях несовместимость может быть преодолена в результате применения дорогих лигатур, однако в некоторых случаях такой подход неприменим.

Задачей изобретения является усовершенствование способа получения сплавов из титана и других элементов, проявляющих термофизическую несовместимость при плавлении.

Настоящее изобретение относится к способу получения изделия из сплава металла, такого как титан, с термофизически несовместимым при плавлении с указанным металлом, легирующим элементом. Настоящий подход помогает решить проблемы, которых либо нельзя избежать в практике плавления, либо которые могут быть решены только с большим трудом и затратами. Настоящий подход позволяет получить однородный сплав, не подвергая компоненты воздействию, приводящему к их несовместимости, в частности, плавлению. Он также позволяет избежать непреднамеренного окисления реакционноспособного металла и легирующих элементов. Настоящий подход позволяет получать изделия с составом, который не может быть легко получен в коммерческом масштабе другим способом без применения лигатур.

Изделие из основного металла, легированное легирующим элементом, получают смешиванием химически восстанавливаемого неметаллического соединения-предшественника основного металла и химически восстанавливаемого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента для получения составной смеси. Легирующий элемент предпочтительно термофизически несовместим в расплавленном состоянии с основным металлом, однако при этом могут присутствовать как термофизически несовместимые при плавлении, так и термофизически совместимые при плавлении легирующие элементы. Данный способ дополнительно включает химическое восстановление составной смеси до металлического сплава без его плавления, а затем уплотнение металлического сплава для получения уплотненного металлического изделия без плавления металлического сплава и без плавления уплотненного металлического изделия.

Неметаллические соединения-предшественники могут быть твердыми, жидкими или газообразными. Химическое восстановление предпочтительно осуществляют путем твердофазного восстановления, такого как электролиз расплавленной соли соединения-предшественника в тонкоизмельченном твердом виде, таком как оксид элемента; или парофазного восстановления, такого как контакт парофазных галоидных соединений основного металла и легирующего элемента (элементов) с жидким щелочным или щелочноземельным металлом. Конечное изделие предпочтительно содержит больше титана, чем любого другого элемента. Однако настоящий подход не ограничен сплавами на основе титана. Другие представляющие в данном случае интерес сплавы включают сплавы на основе алюминия, сплавы на основе железа, сплавы на основе никеля и сплавы на основе магния, однако данный подход применим к любым сплавам, для которых имеются неметаллические соединения-предшественники, которые могут быть восстановлены до металлического состояния.

В соответствии с другим вариантом, способ получения изделия из титана, легированного легирующим элементом, включает стадии получения химически восстанавливаемого неметаллического соединения-предшественника основного металла из металла на основе титана; получения химически восстанавливаемого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента из легирующего элемента, термофизически несовместимого при плавлении с металлом на основе титана, а затем смешивания соединения-предшественника основного металла и соединения-предшественника легирующего элемента для получения составной смеси. Данный способ дополнительно включает химическое восстановление составной смеси для получения металлического сплава без его плавления, а затем уплотнение металлического сплава для получения уплотненного металлического изделия без плавления металлического сплава и без плавления уплотненного металлического изделия. В данном варианте могут быть использованы другие описанные здесь совместимые признаки.

Как показывают приведенные ниже примеры, термофизическая несовместимость при плавлении легирующего элемента с титаном или другим основным металлом может быть любого из нескольких видов. В сплавах могут присутствовать один или несколько термофизически несовместимых при плавлении элементов и один или несколько элементов, которые не являются термофизически несовместимыми при плавлении с основным металлом.

Один из таких видов термофизической несовместимости при плавлении наблюдается при давлении пара, при котором легирующий элемент имеет скорость испарения, более чем в 100 раз превышающую скорость испарения титана при температуре плавления, которая предпочтительно представляет собой температуру несколько выше температуры ликвидуса сплава. Примеры таких легирующих элементов включают кадмий, цинк, висмут, магний и серебро.

Другой такой вид термофизической несовместимости при плавлении наблюдается тогда, когда температура плавления легирующего элемента является слишком высокой или слишком низкой для того, чтобы быть совместимой с температурой плавления титана, например, когда легирующий элемент имеет температуру плавления, более чем приблизительно на 400°C (720°F) выше или ниже температуры плавления титана. Примеры таких легирующих элементов включают вольфрам, тантал, молибден, магний и олово. Некоторые из указанных элементов могут присутствовать в лигатурах, температуры плавления которых близки к температуре плавления титана, однако лигатуры зачастую являются дорогостоящими.

Следующий вид термофизической несовместимости при плавлении наблюдается тогда, когда плотность легирующего элемента настолько отличается от плотности титана, что легирующий элемент физически отделяется в расплаве, например, если плотность легирующего элемента отличается от плотности титана более чем приблизительно на 0,5 грамм на кубический сантиметр. Примеры таких легирующих элементов включают вольфрам, тантал, молибден, ниобий и алюминий.

Очередной вид термофизической несовместимости при плавлении наблюдается тогда, когда легирующий элемент или химическое соединение, образованное легирующим элементом и титаном, химически взаимодействует с титаном в жидкой фазе. Примеры таких легирующих элементов включают кислород, азот, марганец, никель и палладий.

Другой вид термофизической несовместимости при плавлении наблюдается тогда, когда легирующий элемент имеет область несмешиваемости с титаном в жидкой фазе. Примеры таких легирующих элементов включают редкоземельные или редкоземельноподобные элементы, такие как церий, гадолиний, лантан, эрбий, иттрий и неодим.

Следующий, более сложный вид термофизической несовместимости при плавлении проявляют сильные бета стабилизирующие элементы, которые в сплаве с титаном образуют обширные переходные области «ликвидус-солидус». Некоторые из элементов, таких как железо, кобальт, хром, никель или марганец, обычно вступают в эвтектические (или близкие к эвтектическим) фазовые реакции с титаном, а также обычно подвергаются твердофазному эвтектоидному разложению бета фазы на альфа фазу плюс соединение. Другие элементы, такие как висмут и медь, обычно вступают в перитектические фазовые реакции с титаном с получением бета фазы из жидкости и подобным образом обычно подвергаются твердофазному эвтектоидному разложению бета фазы на альфа фазу плюс соединение. Такие элементы чрезвычайно затрудняют получение однородного сплава во время отверждения из расплава. Это происходит не только из-за нормального распределения отверждения, вызывающего микросегрегацию, но также из-за того, что процессы плавления, как известно, вызывают отделение бета стабилизирующей, богатой

элементами жидкости во время отверждения, образующей участки макросегрегации, обычно называемые скоплениями бета фазами.

Очередной вид термофизической несовместимости при плавлении проявляют щелочные и щелочноземельные металлы, такие как литий и кальций, обычно имеющие очень ограниченную растворимость в титановых сплавах. Получение тонкоизмельченных дисперсий указанных элементов, например, бета кальция в альфа титане, с применением процесса плавления может оказаться затруднительным.

Описанные и другие виды термофизической несовместимости при плавлении приводят к трудностям или невозможности получения приемлемых сплавов указанных элементов в обычной практике с применением плавления. Настоящий подход, в соответствии с которым металлы вообще не подвергаются плавлению во время получения или обработки, решает проблему термофизической несовместимости при плавлении для получения однородных сплавов хорошего качества.

В настоящий способ могут быть включены некоторые дополнительные стадии обработки. В некоторых случаях предпочтительно осуществлять прессование составной смеси после стадии смешивания и перед стадией химического восстановления. В результате получают прессованную массу, которая после химического восстановления превращается в губчатый металлический материал. После стадии химического восстановления металлический сплав уплотняют, получая уплотненное металлическое изделие без плавления указанного сплава и уплотненного металлического изделия. Такому уплотнению может быть подвергнута любая физическая форма металлического сплава, полученного химическим восстановлением, однако данный подход особенно целесообразно применять для уплотнения предварительно спрессованной губки. Уплотнение предпочтительно осуществляют путем горячего прессования или горячего изостатического прессования, экструзии, однако в каждом случае без плавления. Для осуществления уплотнения может быть также использована диффузия легирующих элементов в твердой фазе.

Уплотненное металлическое изделие может быть использовано в состоянии после уплотнения. В соответствующих обстоятельствах ему может быть придана другая форма с применением известных способов формования, таких как прокатка, ковка, экструзия и другие. Оно также может быть подвергнуто обработке с применением известных способов, таких как механическая обработка, термическая обработка, нанесение поверхностных покрытий.

Настоящий подход может быть использован для получения изделий из соединений-предшественников полностью без плавления. В результате характеристики легирующих элементов, вызывающие термофизическую несовместимость при плавлении, такие как избыточное испарение из-за высокого давления пара, слишком высокая или низкая температура плавления, слишком высокая или низкая плотность, избыточная химическая реакционная способность, сильная тенденция к сегрегации и наличие области несмешиваемости, все еще могут сохраняться, но не могут привести к неомогенности или дефектам готового металлического сплава. Таким образом, настоящий подход позволяет получить желаемый состав сплава хорошего качества, но без влияния указанных видов термофизической несовместимости при плавлении, которые в противном случае помешают получению приемлемого сплава.

Настоящий подход отличается от известных подходов тем, что металл не подвергают плавлению в широком масштабе. Плавление и связанная с ним обработка, такая как литье, является дорогостоящей, а также приводит к получению некоторых нежелательных микроструктур, которые либо являются неизбежными, либо могут быть изменены только с помощью дополнительных дорогостоящих модификаций процесса обработки. Настоящий подход снижает стоимость и позволяет избежать получения структур и дефектов, связанных с плавлением и литьем, с целью улучшения механических свойств готового металлического изделия. В некоторых случаях он дополнительно облегчает получение специальных профилей и форм, а также контроль полученных изделий. Дополнительные преимущества могут быть получены для конкретных систем металлических сплавов, например, снижение уровня дефектов вызванных наличием альфа-фазы в чувствительных титановых сплавах.

В данной области техники известно несколько видов уплотнения материала в твердом состоянии. Их примеры включают горячее изостатическое прессование, прессование плюс спекание, герметизацию в металлическую оболочку и экструзию, а также ковку. Однако во всех известных случаях указанные способы твердофазной обработки начинаются с металлического материала, предварительно подвергнутого плавлению. Настоящий подход включает

первоначальное применение неметаллических соединений-предшественников, восстановление указанных соединений-предшественников до исходного металлического материала и уплотнение исходного металлического материала. Плавление металлической формы отсутствует.

Предпочтительная форма осуществления настоящего способа также имеет то преимущество, что используется соединение-предшественник в порошковом виде. Исходное использование порошка неметаллических соединений-предшественников помогает избежать получения литейной структуры с присущими ей дефектами, такими как сегрегация элементов, на неравновесном микроскопическом и макроскопическом уровне, литейная микроструктура с диапазоном размеров зерен и морфологии, которые должны быть гомогенизированы каким-либо способом для многих виде применения, захватывание газа и загрязнение. Настоящий подход обеспечивает получение однородного, мелкозернистого, гомогенного, свободного от пор и свободного от газовых пор готового продукта с низким уровнем загрязнения.

Мелкозернистая, свободная от колоний структура исходного металлического материала обеспечивает хорошие предпосылки для последующих стадий уплотнения и обработки металла, таких как ковка, горячее изостатическое прессование, прокатка и экструзия. Известные литые исходные материалы должны быть подвергнуты обработке с целью модификации и уменьшения структуры с колониями, а при настоящем подходе необходимость в такой обработке отпадает.

Другим важным преимуществом настоящего подхода является улучшенная контролируемость по сравнению с литейным и деформируемым продуктом. Большие металлические изделия, применяемые в тех случаях, когда возможно их разрушение, подвергаются многократным проверкам во время и по завершении холодной обработки. Литейный и деформируемый продукт, изготовленный из металлов, таких как альфа-бета титановые сплавы, и подвергаемый экстремальному использованию, например, в качестве дисков для газовых турбин, дает при ультразвуковом исследовании высокий уровень шума из-за структуры с колониями, образующейся во время фазового перехода бета к альфе, происходящего при охлаждении во время литья иликовки. Наличие структуры с колониями и связанный с ней уровень шума ограничивает возможность обнаружения, как небольших дефектов, так и дефектов размером порядка приблизительно 2/64-3/64 дюйма при осуществлении стандартной процедуры выявления раковин с плоским дном.

Изделия, получаемые с применением настоящего способа, не содержат структур с колониями. В результате они имеют существенно более низкий уровень шума во время ультразвукового обследования. Поэтому могут быть обнаружены дефекты размером 1/64 дюйма и менее. Уменьшение размера обнаруживаемых дефектов позволяет получать и контролировать изделия большего размера, тем самым, позволяя применять более экономичные способы получения и/или обнаружения более мелких дефектов. Например, ограничения контролируемости по причине наличия структуры с колониями на промежуточных стадиях обработки лимитируют диаметр изделий, получаемых из альфа-бета титановых сплавов, максимум до 10 дюймов. В результате снижения уровня шума, связанного с процедурой контроля, на промежуточной стадии могут быть обработаны и проконтролированы изделия с большим диаметром. Таким образом, например, поковка диаметром 16 дюймов может быть проверена и прокована непосредственно до конца на промежуточной стадии, а не подвергаться промежуточным стадиям обработки. Количество стадий обработки и затраты на нее могут быть снижены, при этом повышается степень доверия к качеству готового продукта.

Применение настоящего способа особенно целесообразно при получении изделий на основе титана. В настоящее время получение титана из его руд представляет собой дорогостоящий, грязный и опасный для окружающей среды процесс, включающий применение трудноконтролируемых, опасных реагентов и многих стадий обработки. Настоящий подход включает осуществление одной стадии восстановления с применением относительно безопасных расплавленных солей в жидкой фазе либо жидких щелочных металлов. Кроме того, альфа-бета титановые сплавы, полученные в результате применения известных видов обработки, потенциально уязвимы для дефектов, таких как дефекты, вызванные наличием альфа фазы, которые отсутствуют при использовании настоящего подхода. Снижение стоимости конечного продукта, обеспечиваемое настоящим подходом, также делает более легкие титановые сплавы более конкурентоспособными экономически по сравнению с намного более дешевыми материалами, такими как различные сорта стали, при высокзатратных видах применения.

Другие признаки и преимущества настоящего изобретения; станут очевидными из приведенного ниже подробного описания предпочтительного варианта со ссылкой на прилагаемые

чертежи, иллюстрирующие в качестве примера базовые принципы данного изобретения. Однако объем данного изобретения не ограничен приведенным предпочтительным вариантом.

На чертежах представлено:

фиг. 1 - вид в перспективе металлического изделия, полученного в соответствии с настоящим подходом;

фиг. 2 - блок-схема производственного процесса в соответствии с настоящим примером осуществления данного изобретения;

фиг. 3 - вид в перспективе губчатой массы исходного металлического материала.

Настоящий способ может быть использован для получения широкого ряда металлических изделий 20, таких как лопатка 22 компрессора газовой турбины, представленная на фиг. 1. Указанная лопатка 22 компрессора включает крыло 24, приспособление 26, используемое для крепления структуры к диску компрессора (не показан), и платформу 28 между крылом 24 и приспособлением 26. Лопатка 22 компрессора является всего лишь одним примером видов изделий 20, которые могут быть получены с применением настоящего способа. Некоторые другие примеры включают другие детали газовой турбины, такие как лопатки вентилятора, диски вентилятора, диски компрессора, лопатки турбины, диски турбины, подшипники, монолитные лопатки и диски, кожухи и валы, автомобильные детали, биомедицинские изделия и структурные детали, такие как детали для планера самолета. Не существует известных ограничений видов изделий, которые могут быть получены с применением настоящего способа.

Фиг. 2 иллюстрирует предпочтительный вариант получения изделия из основного металла и термофизически несовместимого с ним при плавлении легирующего элемента.

Данный способ включает получение химически восстановимого соединения-предшественника основного металла, стадия 40, и получение химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента, термофизически несовместимого при плавлении с основным металлом, стадия 42. «Неметаллические соединения-предшественники» представляют собой неметаллические соединения металлов, образующие металлическое изделие 20. Могут быть использованы любые подходящие неметаллические соединения-предшественники. Восстановимые оксиды металлов представляют собой предпочтительные неметаллические соединения-предшественники при твердофазном восстановлении, однако могут быть также использованы другие виды неметаллических соединений, такие как сульфиды, карбиды, галоиды и нитриды. Восстановимые галоиды металлов представляют собой предпочтительные неметаллические соединения - предшественников при парофазном восстановлении. Основной металл представляет собой металл, присутствующий в большем процентном количестве в расчете на массу, чем любой другой элемент в сплаве. Соединение основного металла присутствует в таком количестве, что после описываемого ниже химического восстановления в металлическом сплаве присутствует большее количество основного металла, чем любого другого элемента. В предпочтительном случае основной металл представляет собой титан, а соединение основного металла представляет собой оксид титана, TiO_2 (для твердофазного восстановления), или тетрахлорид титана (для парофазного восстановления). Легирующий элемент может представлять собой любой элемент, доступный в химически восстановимой форме соединения-предшественника. Несколько иллюстративных примеров включают кадмий, цинк, серебро, железо, кобальт, хром, висмут, мель, вольфрам, тантал, молибден, алюминий, ниобий, никель, марганец, магний, литий, берилл и редкоземельные металлы.

Неметаллические соединения-предшественники выбирают таким образом, чтобы обеспечить присутствие необходимых металлов в готовом металлическом изделии, и смешивают вместе в необходимых количествах для получения нужных соотношений указанных металлов в металлическом изделии. Например, если готовое изделие должно содержать конкретные пропорции титана, алюминия и ванадия в соотношении 90:6:4 мас., то неметаллическими соединениями-предшественниками предпочтительно являются оксид титана, оксид алюминия и оксид ванадия для твердофазного восстановления, или тетрахлорид титана, хлорид алюминия и хлорид ванадия для парофазного восстановления. Могут быть также использованы неметаллические соединения-предшественники, служащие источником нескольких металлов в готовом металлическом изделии. Такие соединения-предшественники получают и смешивают вместе в правильных пропорциях таким образом, что соотношение титана : алюминия : ванадия в смеси соединений-предшественников соответствует нужному соотношению в металлическом сплаве, из которого получают конечное изделие (90:6:4 мас. в примере). В данном примере

готовое металлическое изделие получено из сплава на основе титана, в котором весовое содержание титана больше, чем какого-либо другого элемента.

Соединение основного металла и легирующее соединение представляют собой тонкоизмельченные твердые или газообразные вещества, что обеспечивает их химическое взаимодействие на следующей стадии. Тонкоизмельченное соединение основного металла и легирующее соединение могут, например, иметь вид порошков, гранул, хлопьев и т.п. Предпочтительнее максимальные размеры тонкоизмельченного соединения составляют около 100 микрометров, при этом предпочтительными являются максимальные размеры менее 10 микрометров, обеспечивающие хорошую реакционную способность. Настоящий способ предпочтительно, но необязательно, применяют к термофизически несовместимым при плавлении сплавам. Фраза «термофизическая несовместимость при плавлении» и подобные фразы по существу означают то, что любое идентифицированное термофизическое свойство легирующего элемента достаточно отличается от свойства основного металла, в предпочтительном случае титана, для того чтобы оказать отрицательное действие на подвергнутый плавлению конечный продукт. Подобное отрицательное действие включает такие явления, как химическая неоднородность (наносщая вред микросегрегация, макросегрегация, такая как скопление бета фазы, и общая сегрегация в результате выпаривания или несмешиваемости), включения легирующих элементов (например, включения высокой плотности таких элементов, как вольфрам, тантал, молибден и ниобий) и т.п. Термофизические свойства являются особенностью элементов, а также сочетаний элементов, образующих сплавы и обычно представляются с помощью диаграмм фазового равновесия, кривых зависимости давления пара от температуры, кривых плотностей в виде функции кристаллической структуры и температуры, и тому подобных подходов. Несмотря на то, что системы сплавов могут всего лишь приблизиться к предсказанному равновесию, такие изображаемые в виде графиков данные предоставляют информацию, достаточную для определения и предсказания причин отрицательного воздействия в виде термофизической несовместимости при плавлении. Однако возможность определять и предсказывать указанные пагубные дефекты в результате термофизической несовместимости при плавлении не устраняет данные дефекты. Настоящий подход предлагает способ сведения к минимуму и, желательно, избегания дефектов путем исключения плавления из процесса получения и обработки сплава.

Таким образом, фраза «термофизическая несовместимость при плавлении» и подобные фразы означают, что легирующий элемент или элементы в получаемом сплаве не образуют хорошо перемешанный гомогенный сплав с основным металлом в результате осуществления технологического, устойчивого и контролируемого процесса плавления. В некоторых случаях термофизически несовместимый при плавлении легирующий элемент не может быть легко введен в сплав при любом его составе, а в других случаях легирующий элемент может быть введен в небольшом количестве и не может быть введен в большом количестве. Например, при низком содержании (обычно приблизительно до 0,3% мас.) железо не ведет себя термофизически несовместимым при плавлении, поэтому могут быть получены гомогенные, содержащие титан и железо сплавы с небольшим содержанием железа. Однако при введении железа в титан в большом количестве оно проявляет сильную тенденцию к сегрегации в расплаве, в результате чего показывает себя термофизически несовместимым при плавлении, поэтому гомогенные сплавы могут быть получены с большим трудом. Согласно другим примерам при добавлении магния в расплав титана в вакууме, магний немедленно начинает испаряться из-за низкого давления его пара, поэтому плавление не может быть устойчиво завершено. Вольфрам проявляет тенденцию к сегрегации в титановом расплаве по причине разницы в плотности с титаном, что сильно затрудняет получение гомогенного титаново-вольфрамового сплава.

Как показывают нижеприведенные примеры, термофизическая несовместимость при плавлении легирующего элемента с титаном или другим основным металлом может быть нескольких видов.

Один из видов такой термофизической несовместимости при плавлении проявляется при давлении пара, при котором легирующий элемент имеет скорость испарения более чем приблизительно в 100 раз выше скорости испарения титана при температуре плавления, предпочтительно представляющей собой температуру несколько выше температуры ликвидуса сплава. Примеры таких легирующих элементов включают кадмий, цинк, висмут, магний и серебро. В том случае если давление пара легирующего элемента слишком высоко, то, как показывают величины скорости испарения, при совместном плавлении с титаном в вакууме согласно известной практике плавления происходит преимущественное испарение легирующего

элемента. В результате образуется сплав, однако он неустойчив во время плавления и постоянно теряет легирующий элемент таким образом, что процентное содержание последнего в готовом сплаве трудно проконтролировать. В соответствии с настоящим подходом, поскольку плавление в вакууме отсутствует, высокое давление паров легирующего элемента при плавлении не создает трудностей.

Другой вид термофизической несовместимости при плавлении наблюдается в том случае, когда температура плавления легирующего элемента является слишком высокой или слишком низкой для того, чтобы быть совместимой с температурой плавления титана, например, когда легирующий элемент имеет температуру плавления более, чем приблизительно на 400°C (720°F) выше или ниже температуры плавления титана. Примеры таких легирующих элементов включают вольфрам, тантал, молибден, магний и олово. Если температура плавления легирующего элемента слишком высока, то плавление и гомогенизация легирующего элемента в титановом расплаве согласно известной практике плавления в вакууме являются затруднительными. Сегрегация таких легирующих элементов может привести к образованию включений высокой плотности, содержащих такие элементы, например, включения из вольфрама, тантала или молибдена. Если температура плавления легирующего элемента слишком низка, то он, скорее всего, будет иметь слишком высокое давление пара при температуре, необходимой для плавления титана. В соответствии с настоящим подходом, поскольку плавление в вакууме отсутствует, слишком высокая или низкая температура плавления не создает трудностей.

Следующий вид термофизической несовместимости при плавлении наблюдается тогда, когда плотность легирующего элемента настолько отягчается от плотности титана, что легирующий элемент физически отделяется в расплаве, например, если плотность легирующего элемента отличается от плотности титана на величину более чем приблизительно 0.5 грамм на кубический сантиметр. Примеры таких легирующих элементов включают вольфрам, тантал, молибден, ниобий и алюминий. Согласно известной практике плавления слишком высокая или низкая плотность вызывает сегрегацию легирующего элемента под действием силы тяжести. В соответствии с настоящим подходом, поскольку плавление отсутствует, то сегрегации под действием силы тяжести не возникает.

Очередной вид термофизической несовместимости при плавлении наблюдается тогда, когда легирующий элемент химически взаимодействует с титаном в жидкой фазе. Примеры таких легирующих элементов включают кислород, азот, кремний, бор и бериллий. Согласно известной практике плавления химическая реакционная способность легирующего элемента с титаном приводит к образованию интерметаллических соединений, включающих титан и легирующий элемент, и/или других вредных фаз расплава, которые сохраняются после затверждения расплава. Такие фазы зачастую оказывают отрицательное действие на свойства готового сплава. В соответствии с настоящим подходом, поскольку металлы не нагревают до температуры, при которой происходит подобное взаимодействие, такие соединения не образуются.

Дальнейший вид термофизической несовместимости при плавлении наблюдается тогда, когда легирующий элемент имеет область несмешиваемости с титаном в жидкой фазе. Примеры таких легирующих элементов включают редкоземельные металлы, такие как церий, гадолиний, лантан, эрбий, иттрий и неодим. Согласно известной практике область несмешиваемости приводит к расслоению расплава на составы, определяемые указанной областью. Результатом является негомогенность расплава, которая сохраняется в конечном твердом изделии. Подобная негомогенность приводит к различным свойствам в различных частях готового изделия. В соответствии с настоящим подходом, поскольку элементы не подвергаются плавлению, наличие области несмешиваемости не создает трудностей.

Следующий, более сложный вид термофизической несовместимости при плавлении проявляют сильные бета стабилизирующие элементы, которые при легировании титаном имеют большие переходные области «ликвидус-солидус». Некоторые из элементов, такие как железо, кобальт и хром, обычно вступают в эвтектические (или близкие к эвтектическим) фазовые реакции с титаном, а также обычно подвергаются твердофазному эвтектоидному разложению бета фазы на альфа фазу плюс соединение. Другие элементы, такие как висмут и медь, обычно вступают перитектические фазовые реакции с титаном с получением бета фазы из жидкости и подобным образом обычно подвергаются твердофазному эвтектоидному разложению бета фазы на альфа фазу плюс соединение. Такие элементы чрезвычайно затрудняют получение гомогенного сплава во время отверждения из расплава. Это происходит не только из-за нормального распределения, отверждения, вызывающего микросегрегацию, но также из-за того, что процессы плавления, как

известно, вызывают отделение бета стабилизирующей, богатой элементами жидкости во время отверждения, образующей участки макросегрегации, обычно называемые скоплениями бета фазами эвтектические (или близкие к эвтектическим) фазовые реакции с титаном, а также обычно подвергаются твердофазному эвтектоидному разложению бета фазы на альфа фазу плюс соединение. Другие элементы, такие как висмут и медь, обычно вступают в перитектические фазовые реакции с титаном с получением бета фазы из жидкости и подобным образом обычно подвергаются твердофазному эвтектоидному разложению бета фазы на альфа фазу плюс соединение. Такие элементы чрезвычайно затрудняют получение однородного сплава во время отверждения из расплава. Это происходит не только из-за нормального распределения отверждения, вызывающего микросегрегацию, но также из-за того, что процессы плавления, как известно, вызывают отделение бета стабилизирующей, богатой элементами жидкости во время отверждения, образующей участки макросегрегации, обычно называемые скоплениями бета фазами.

Очередной вид термофизической несовместимости при плавлении проявляют такие элементы, как щелочные и щелочноземельные металлы, имеющие крайне ограниченную растворимость в титановых сплавах. Примеры таких металлов включают литий и кальций. Получение тонкоизмельченных дисперсий указанных элементов, например, бета кальция в альфа титане, с применением процесса плавления может оказаться затруднительным.

Описанные и другие виды термофизической несовместимости при плавлении приводят к трудностям или невозможности получения приемлемых сплавов указанных элементов в результате обычного плавления в вакууме. Настоящий подход, не включающий плавления, позволяет избежать их побочного действия. Соединение на основе металла и легирующее соединение смешивают вместе, получая однородную, однородную составную смесь, стадия 44. Смешивание осуществляют известными способами, применяемыми для смешивания порошков, имеющих другое назначение, при твердофазном восстановлении, либо смешивая пары при парофазном восстановлении.

При твердофазном восстановлении составных порошков твердых предшественников составную смесь подвергают прессованию, получая брикет, стадия 46. Подобное прессование осуществляют холодной или горячей штамповкой тонкоизмельченных соединений, но не при такой высокой температуре, при которой происходит плавление соединений. Прессованная форма может быть подвергнута спеканию в твердом состоянии с целью временного связывания частиц между собой. В результате прессования желательно получить форму, близкую к форме конечного изделия, но большую по размерам.

Затем смесь неметаллических соединений-предшественников восстанавливают любым подходящим химическим способом для получения исходного металлического материала без плавления указанного материала, стадия 48. В данном описании выражения «без плавления», «при отсутствии плавления» и подобные им выражения означают, что материал не подвергается макроскопическому или общему плавлению с разжижением и потерей своей формы. Может, например, иметь место некоторое незначительное локализованное плавление при плавлении элементов с низкой температурой плавления и их диффузионное сплавление с элементами с более высокой температурой плавления, которые не плавятся. Даже в таких случаях общая форма материала остается неизменной.

В соответствии с одним из подходов, описанное твердофазное химическое восстановление, возможное благодаря тому, что неметаллические соединения-предшественники находятся в твердом виде, может быть осуществлено путем электролиза расплавленных солей. Электролиз расплавленных солей представляет собой известный способ, например, описанный в опубликованной патентной заявке WO 99/64638, приводимой здесь во всей своей полноте в качестве ссылки. Вкратце, при осуществлении электролиза расплавленных солей смесь неметаллических соединений-предшественников погружают в электролитическую ванну с электролитом в виде расплава соли, такой как хлорид, при температуре, ниже температуры плавления металлов, образующих неметаллические соединения-предшественники. Смесь неметаллических соединений-предшественников представляет собой катод ванны для электролиза, а анод является инертным. Элементы, соединенные с металлами в неметаллических соединениях-предшественниках, такие как кислород, в предпочтительном случае с применением оксидных неметаллических соединений-предшественников, удаляют из смеси путем химического восстановления (процесса обратного химическому окислению). Реакцию осуществляют при повышенной температуре с целью ускорения диффузии кислорода или другого газа из катода.

Катодный потенциал контролируют для того, чтобы обеспечить восстановление неметаллических соединений-предшественников, а не другие возможные химические реакции, такие как разложение расплавленной соли. Электролит представляет собой соль, предпочтительно, более стойкую соль, чем равноценная соль подвергаемых очистке металлов, и, в идеале, очень стойкую соль, т.е. способную удалять кислород или другой газ до низкого содержания. Предпочтительными являются хлориды и смеси хлоридов с барием, кальцием, цезием/ литием, стронцием и иттрием. Химическое восстановление может продолжаться до завершения, т. е. до тех пор, пока неметаллические соединения-предшественники не будут полностью восстановлены. Химическое восстановление также может быть частичным, вследствие чего некоторое количество неметаллических соединений-предшественников может оставаться.

В соответствии с другим подходом, описанное парофазное химическое восстановление, возможное благодаря тому, что неметаллические соединения-предшественники находятся в виде паров или газовой фазы, может быть осуществлено путем восстановления галоидов основного металла и легирующих элементов с применением жидкого щелочного металла или жидкого щелочноземельного металла. Например, в качестве газов могут быть использованы тетрахлорид титана и хлориды легирующих элементов. Смесь указанных газов в нужном соотношении подвергают контакту с расплавленным натрием таким образом, что металлические галоиды восстанавливаются до металлической формы. Металлический сплав отделяют от натрия. Такое восстановление осуществляют при температуре ниже температуры плавления металлического сплава. Данный подход описан более подробно в патентах США. US 5779761 и 115 5958106, приводимых здесь в качестве ссылки.

Физическая форма исходного металлического материала при завершении стадии 48 зависит от физической формы смеси неметаллических соединений-предшественников в начале стадии 48. В том случае, если смесь неметаллических соединений-предшественников является сыпучей, то есть имеет вид мелких частиц, порошков, гранул, кусочков и другие, то исходный металлический материал имеет такую же форму за исключением того, что указанные формы имеют меньший размер и, как правило, некоторую пористость. В том случае, если смесь неметаллических соединений-предшественников представляет собой прессованную массу мелких частиц, порошков, гранул, кусочков и т. п., то, как показано на фиг. 3, конечная физическая форма исходного металлического материала обычно имеет форму несколько пористой металлической губки 60. Наружные размеры металлической губки меньше размеров прессованной массы неметаллического соединения-рода и/или других неметаллических элементов на стадии восстановления 48. Если смесь неметаллических соединений-предшественников представляет собой пар, то конечной физической формой исходного металлического материала обычно является тонкодисперсный порошок, который затем может быть подвергнут обработке.

Химический состав исходного металлического сплава определяется видами и количеством металлов в смеси неметаллических соединений-предшественников, подаваемых на стадии 40 и 42. Относительные пропорции металлических элементов определяют по их соответствующим соотношениям в смеси на стадии 44 (не по соответствующим соотношениям соединений, а по соответствующим соотношениям металлических элементов). При необходимости исходный металлический сплав содержит больше титана, чем любого другого элемента, представляя собой исходный металлический сплав на основе титана.

Исходный металлический сплав имеет форму, структурно неподходящую для большей части видов применения. Соответственно и предпочтительно исходный металлический сплав затем уплотняют, получая уплотненное металлическое изделие, не подвергая плавке исходный металлический сплав и не подвергая плавке уплотненное металлическое изделие, стадия 50. Уплотнение лишает исходный металлический сплав пористости, желательным повышая его относительную плотность до уровня, приближающегося к 100%. Уплотнение 50 предпочтительно осуществляют путем горячего изостатического прессования исходного металлического сплава при соответствующей температуре и давлении, но при температуре, ниже температуры плавления исходного металлического сплава и уплотненного металлического изделия (указанные температуры плавления, как правило, одинаковы или очень близки). Могут быть также использованы штамповка, спекание в твердом состоянии и экструзия в металлической оболочке, особенно предпочтительно, если исходный металлический сплав имеет вид порошка. Уплотнение уменьшает внешние размеры массы исходного металлического сплава, однако такое уменьшение размеров является предсказуемым при опыте работы с конкретными композициями. Уплотнение 50 также может быть использовано для дополнительного легирования металлического изделия.

Например, в емкостях, используемых при горячей изостатической штамповке, может не создаваться разрежение, обеспечивая наличие остаточного кислорода. При нагревании для осуществления горячей изостатической штамповки остаточный кислород диффундирует и связывается с титановым сплавом. Уплотненное металлическое изделие, например, представленное на фиг. 1, может быть использовано в состоянии после уплотнения. Альтернативно, в соответствующих случаях уплотненное металлическое изделие может быть подвергнуто необязательной последующей обработке, стадия 52. Последующая обработка может включать формование любым способом, подходящим для формования металлов, таким какковка, экструзия, прокатка и т.п. Уплотненное металлическое изделие может быть вместе с указанной обработкой или вместо нее подвергнуто необязательной последующей обработке на стадии 52 с применением других известных способов обработки металлов. Такая последующая обработка может включать, например, термическую обработку, нанесение поверхностных покрытий, механическую обработку и т.п.

Металлический материал никогда не нагревают выше температуры его плавления.

Кроме того, его температуру можно поддерживать на уровне, ниже конкретной температуры, которая сама по себе ниже температуры плавления. Например, при нагревании альфа-бета титанового сплава выше температуры бета перехода образуется бета-фаза. При нагревании сплава ниже температуры бета перехода бета-фаза превращается в альфа фазу. При некоторых видах применения желательно не нагревать металлический сплав до температуры выше температуры бета-перехода. В таком случае необходимо следить за тем, чтобы губка или другая металлическая форма не нагревалась выше своей температуры бета перехода на всем протяжении обработки. В результате получают тонкую микроструктуру, которая свободна от колоний альфа фазы и может быть превращена в сверхпластичную микроструктуру легче, чем крупная микроструктура. Благодаря мелкому размеру частиц, получаемому в результате такой обработки, требуется меньше усилий для получения тонкой структуры конечного изделия, что приводит к удешевлению продукта. Последующие производственные операции упрощаются благодаря низкому напряжению пластического течения материала, поэтому могут быть использованы менее дорогостоящие ковочные прессы меньшего размера и другое металлообрабатывающее оборудование, при этом указанное оборудование меньше изнашивается.

В других случаях, например, при получении некоторых деталей и структур планера самолета, желательно нагревать сплав выше бета-перехода до интервала существования бета-фазы таким образом, чтобы получить бета-фазу и повысить прочность готового продукта. В таком случае металлический сплав во время обработки может быть нагрет до температуры выше температуры бета перехода, но в любом случае не выше температуры плавления сплава. Когда изделие, нагретое выше температуры бета перехода, вновь охлаждают до температуры ниже температуры бета перехода, образуется структура с мелкими колониями, которая может препятствовать ультразвуковому исследованию изделия. В таком случае желательно получение изделия и его ультразвуковое исследование проводить при низкой температуре без нагревания до температуры выше температуры бета перехода таким образом, чтобы оно находилось в состоянии со свободными колониями. По завершении ультразвукового исследования, подтверждающего, что изделие не имеет дефектов, оно может быть подвергнуто термической обработке при температуре выше температуры бета перехода, а затем охлаждению. Такое готовое изделие проверять труднее, чем изделие, которое не подвергалось нагреванию выше бета перехода, однако отсутствие дефектов уже было установлено.

Тип микроструктуры, морфология и масштаб изделия определяются исходными материалами и видами обработки. При использовании способов твердофазного восстановления зерна изделий, получаемых в соответствии с настоящим подходом, обычно соответствуют морфологии и размеру частиц порошка исходных материалов. Таким образом, 5-микронный размер частиц предшественника обеспечивает размер конечных зерен порядка около 5 микрон. Для большей части видов использования предпочтительно, чтобы размер зерен составлял менее приблизительно 10 микрон, несмотря на то, что размер зерен может достигать 100 микрон и более. Как указывалось выше, в соответствии с настоящим подходом следует избегать крупной структуры с альфа колониями, получаемой из трансформированных крупных бета зерен, которые при обычной обработке с плавлением образуются при охлаждении расплава до бета участка фазовой диаграммы. В соответствии с настоящим подходом металл никогда не плавят и не охлаждают из расплава до бета участка, поэтому крупные бета зерна никогда не образуются. Бета зерна могут быть образованы во время

вышеописанной последующей обработки, но они образуются при температуре ниже температуры плавления и поэтому они намного мельче, чем бета зерна, получаемые в результате охлаждения из расплава при использовании известных способов. При использовании известных способов, основанных на плавлении, последующая обработка металла предназначена для разрушения и глобуляризации крупнозернистой альфа структуры, имеющей вид скоплений. В соответствии с настоящим подходом такой обработки не требуется, поскольку получаемая структура является мелкозернистой и не включает альфа пластинки.

В соответствии с настоящим подходом смесь неметаллических соединений-предшественников обрабатывают до конечного состояния металла без какого-либо нагревания указанного металла выше температуры его плавления. Следовательно, применение данного способа помогает избежать расходов, связанных с плавлением, таких как стоимость поддержания атмосферы или вакуумной печи при получении сплавов на основе титана. Он также предотвращает образование микроструктур, связанных с плавлением, как правило, крупнозернистых структур, дефектов литья и структур с колониями. Без таких дефектов изделия могут иметь более легкий вес. При получении чувствительных сплавов на основе титана альфа фаза не образуется или частота ее образования также снижается благодаря восстанавливающей атмосфере. Механические свойства, такие как статическая и усталостная прочность, повышаются.

В соответствии с настоящим подходом смесь неметаллических соединений-предшественников обрабатывают до конечного состояния металла без какого-либо нагревания указанного металла выше температуры его плавления. Следовательно, применение данного способа помогает избежать расходов, связанных с плавлением, таких как стоимость поддержания атмосферы или вакуумной печи при получении сплавов на основе титана. Он также предотвращает образование микроструктур, связанных с плавлением, как правило, крупнозернистых структур, дефектов литья и структур с колониями. Без таких дефектов изделия могут иметь более легкий вес, поскольку исключается расход дополнительного материала на компенсацию указанных дефектов. Более высокая уверенность в свободном от дефектов состоянии изделия наряду с вышеописанным более высоким уровнем контроля также ведет к снижению расхода дополнительного материала. При получении чувствительных сплавов на основе титана альфа фаза не образуется или частота ее образования также снижается благодаря восстанавливающей атмосфере.

Несмотря на то, что конкретный вариант осуществления данного изобретения был подробно описан с целью иллюстрации, допустимы различные модификации и улучшения при условии, что они не нарушают сущность и объем данного изобретения. Соответственно, настоящее изобретение не имеет ограничений в рамках прилагаемой формулы изобретения.

Формула изобретения

1. Способ получения изделия из металла на основе легированного легирующим элементом титана, включающий следующие стадии: обеспечение химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника титана в качестве основного металла, обеспечение химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента, смешивание соединения-предшественника основного металла и соединения-предшественника легирующего элемента для получения составной смеси, химическое восстановление составной смеси до металлического сплава без плавления указанного сплава, уплотнение металлического сплава для получения уплотненного металлического изделия без плавления металлического сплава и без плавления уплотненного металлического изделия.

2. Способ по п. 1, в котором стадия обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника основного металла включает стадию обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника основного металла в тонкоизмельченном твердом виде, при этом стадия обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента включает стадию обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника основного легирующего элемента в тонкоизмельченном виде.

3. Способ по п. 1, в котором стадия обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника основного металла включает стадию обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника основного металла в виде газа, при этом стадия обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения - предшественника легирующего элемента включает стадию обеспечения химически

восстановимого неметаллического соединения-предшественника основного легирующего элемента в виде газа.

4. Способ по п. 1, в котором стадия обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения - предшественника основного металла включает стадию обеспечения химически восстановимого оксида основного металла.

5. Способ по п. 1, в котором стадия обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента включает стадию добавки соединения-предшественника легирующего элемента, при этом легирующий элемент термофизически несовместим при плавлении с основным металлом.

6. Способ по п. 1, в котором стадия обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента включает стадию обеспечения химически восстановимого оксида легирующего элемента.

7. Способ по п. 1, в котором стадия химического восстановления включает стадию химического восстановления составной смеси путем твердофазного восстановления.

8. Способ по п. 1, в котором стадия химического восстановления включает стадию химического восстановления составной смеси путем электролиза расплавленной соли.

9. Способ по п. 1, в котором стадия химического восстановления включает стадию химического восстановления составной смеси путем парового восстановления.

10. Способ по п. 1, в котором стадия химического восстановления включает стадию химического восстановления составной смеси путем контакта с жидкостью, выбранной из группы, включающей жидкий щелочной металл и жидкий щелочноземельный металл.

11. Способ получения изделия из титана, легированного легирующим элементом, включающий следующие стадии: обеспечение химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника титана в качестве основного металла, обеспечение химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента, термофизически несовместимого при плавлении с титаном в качестве основного металла, смешивание соединения-предшественника основного металла и соединения-предшественника легирующего элемента для получения составной смеси, химическое восстановление составной смеси для получения металлического сплава без плавления указанного сплава, уплотнение металлического сплава для получения уплотненного металлического изделия без плавления металлического сплава и без плавления уплотненного металлического изделия.

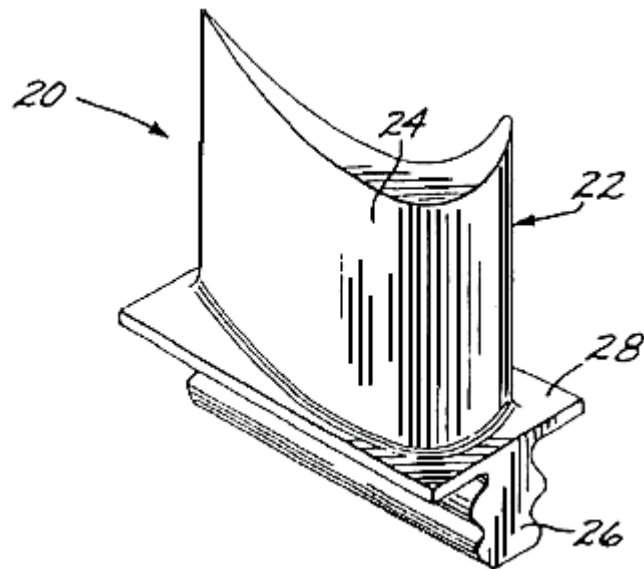
12. Способ по п. 11, в котором стадия обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента включает стадию обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента, при этом легирующий элемент имеет давление пара, более чем в 100 раз превышающее давление пара титана над титановым расплавом, при этом давление паров, как первого, так и второго компонентов измеряют при температурах их плавления.

13. Способ по п. 11, в котором стадия обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента включает стадию обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента, при этом легирующий элемент имеет температуру плавления, отличающуюся от температуры плавления титана более чем приблизительно на 400°C.

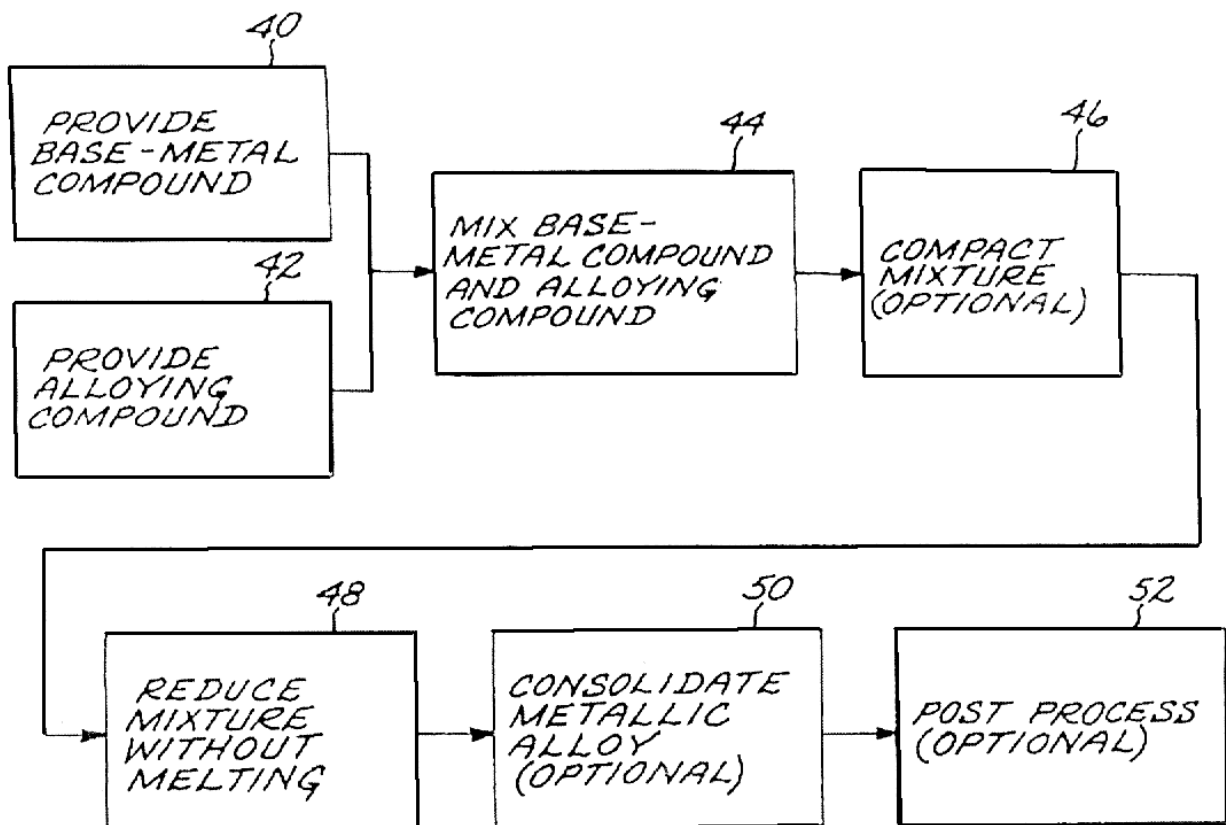
14. Способ по п. 11, в котором стадия обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента включает стадию обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента, при этом разница в плотности легирующего элемента и титана составляет более приблизительно 0,5 грамм на кубический сантиметр.

15. Способ по п. 11, в котором стадия обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента включает стадию обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента, при этом легирующий элемент химически взаимодействует с титаном в жидкой фазе с получением химических соединений, содержащих титан и легирующий элемент.

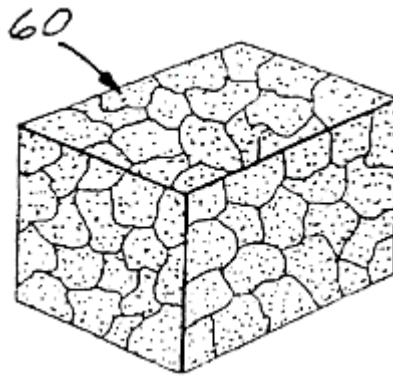
16. Способ по п. 11, в котором стадия обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента включает стадию обеспечения химически восстановимого неметаллического соединения-предшественника легирующего элемента, при этом легирующий элемент имеет область несовместимости с титаном в жидкой фазе.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Составитель описания
Ответственный за выпуск

Усубакунова З.К.
Арипов С.К.

Кыргызпатент, 720021, г.Бишкек, ул. Московская, 62, тел. (312) 680819, 681641, факс (312) 681703