

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21)

202292913

(13)

A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.12.01

(51) Int. Cl. *C22C 1/02* (2006.01)
C40B 60/14 (2006.01)
C22C 9/00 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2020.04.21

(54) СПОСОБ ГИБКОГО ПРОИЗВОДСТВА ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

(86) PCT/BG2020/000017

(74) Представитель:

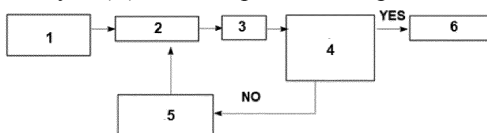
(87) WO 2021/212188 2021.10.28

**Ловцов С.В., Вилесов А.С., Гавриков
К.В., Коптева Т.В., Левчук Д.В.,
Стукалова В.В. (RU)**

(71) Заявитель:
АЛОТЕК ЛТД (BG)

(72) Изобретатель:
**Ткачук Иван, Козырский Володимир
(UA)**

(57) Изобретение относится к способу и устройству для гибкого производства интерметаллических соединений, в том числе с эффектом памяти формы. Способ и устройство могут найти массовое применение в промышленном производстве современных функциональных и инновационных изделий на основе интерметаллических соединений с заданными физико-механическими параметрами и свойствами. Способ включает этапы отбора промежуточного образца расплава, измерения фактических физико-механических свойств и характеристик материала образца и корректировку состава и/или параметров режима работы плавильной печи. Устройство включает измерительный модуль (I) и модуль (II) для отображения и хранения информации.



202292913

A1

A1

202292913

СПОСОБ ГИБКОГО ПРОИЗВОДСТВА ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

ОПИСАНИЕ

Область техники, к которой относится настоящее изобретение

Изобретение относится к способу и устройству для гибкого производства интерметаллических соединений, в том числе с эффектом памяти формы. В частности, изобретение относится к способу и устройству для гибкого производства интерметаллических соединений с использованием плавильной печи, в том числе к производству с использованием тигельных или периодических индукционных печей, работающих при атмосферных условиях. Способ и устройство могут найти массовое применение в промышленном производстве современных функциональных и инновационных изделий на основе интерметаллических соединений с заданными физико-механическими параметрами и свойствами.

Области применения многочисленны и разнообразны, есть примеры применения в производстве электроэнергии, нефти и газа, в металлургической, угольной, химической, пищевой и других отраслях промышленности для создания умных устройств на основе новых функциональных материалов. Особенно многообещающими являются материалы, основанные на прямом преобразовании тепловой энергии, в том числе низкотемпературной, непосредственно в механическую работу, так называемые материалы с эффектом памяти формы.

Предшествующий уровень техники настоящего изобретения

При плавлении металлы могут вступать в химическую реакцию друг с другом с образованием интерметаллических соединений. Соединения между металлами могут иметь разный состав. Известно множество двух-, трехкомпонентных интерметаллических соединений на основе различных металлов, таких как Ti, Ni, Al, Cu, Au, Li, Na и другие. Они обладают различными полезными свойствами и улучшенными механическими, термическими, электрическими, оптическими, магнитными и другими характеристиками, что делает эти материалы все более востребованными и применимыми в быту и промышленности. Практическое применение интерметаллических соединений, как правило, широко и разнообразно. Это очень прочные конструкционные материалы, полупроводники, сверхпроводники, материалы для изготовления постоянных магнитов и многое другое.

Интерметаллические соединения являются важным компонентом жаропрочных сплавов, типографских сплавов и т. д. Их применение в будущем будет расширяться, а их широкое использование будет зависеть главным образом от обеспечения дешевых и надежных технологий их производства. Их широкое применение может быть реализовано, например, при изготовлении соединителей труб в нефтяной промышленности, выдвижных антенн сотовых телефонов, шин и скоб для ортодонтической коррекции зубов, при производстве игрушек и предметов для развлечения, гибких оправ для очков, гибких оконных рам, в серийном производстве приводов, датчиков, тепловых двигателей, грузоподъемных устройств и т.д.

Некоторые из перспективных интерметаллических соединений обладают эффектом восстановления своей формы при изменении температуры или так называемым эффектом памяти формы. В основе этого эффекта лежит процесс фазового превращения материала, происходящий как при деформации объекта, так и при восстановлении его формы. Такое изменение формы создает полезную силу, которая делает эти интерметаллические соединения эффективными для использования в ряде чувствительных к температуре устройств биомедицинского или технического назначения. Химический состав интерметаллических соединений, обладающих эффектом памяти формы, обеспечивает необходимую температуру превращения и ширину гистерезиса для конкретного применения. Эти важные параметры можно регулировать, варьируя входящие в состав компоненты, изменяя их соотношение и/или добавляя в расплав новые элементы.

Некоторыми из хорошо известных и коммерчески доступных материалов являются никель-титановые, золото-кадмиевые или серебряно-кадмиевые материалы, а также материалы на основе меди, железа и титана. Одним из наиболее известных и изученных интерметаллических соединений с эффектом памяти формы является никелид титана, так называемый нитинол. Однако пока его применение ограничивается в основном космической отраслью и медициной. Основным фактором, препятствующим массовому использованию нитинолсодержащих материалов, содержащих Ti, в других отраслях человеческой деятельности, является их высокая стоимость. Это связано как с дороговизной сырья, так и со сложностью технологий производства, связанных со значительными трудностями из-за необходимости жесткого контроля за составом и чрезвычайно высокой химической активностью титана, что требует специального вакуумного оборудования.

Известны интерметаллические соединения на основе меди, марганца и кобальта, а также способы их получения с использованием более дешевых и распространенных исходных компонентов, которые не всегда требуют применения вакуумного оборудования. Можно отметить некоторые публикации. Например, в SU1624039A1 описана композиция, содержащая медь, алюминий, марганец, кобальт и бор. В описании подчеркивается важность очень точного соотношения между исходными компонентами композиции и влияние изменения их соотношения на термомеханические характеристики материала с высоким уровнем восстанавливаемой деформации. Однако при этом не принимаются во внимание случайные потери компонентов, такие как пары, неточное и пограничное дозирование и т. д., которые могут привести к другим соотношениям, существенно изменяющим искомые характеристики. Не предусмотрены средства и стадии, позволяющие в процессе производства гибко вносить необходимые корректировки в пропорции и режимы во избежание брака конечного соединения.

SU1731859A1 раскрывает способ термической обработки сплавов системы Cu-Al-Mn, включающий стадии нагрева в β -области и закалки, где перед закалкой проводят отжиг, а процесс осуществляется при определенных режимах термообработки. Этот способ воздействия на характеристики получаемых сплавов важен, но недостаточен, так как имеет очень узкую область регулирования характеристик уже полученных сплавов.

RU2327753C2 раскрывает композицию, содержащую никель, титан, ниобий и цирконий. Известна другая публикация CN110205538, в которой раскрыта композиция, содержащая никель, титан, ниобий и алюминий. Еще одна композиция, содержащая титан, никель, медь и молибден, раскрыта в KR20020004731(A). Здесь также улучшение характеристик раскрытых сплавов достигается предварительным очень точным определением массы компонентов перед плавкой и введением дополнительных легирующих элементов, таких как ниобий. В них также отсутствуют средства определения характеристик сплава при плавке, что значительно снижает эффективность данной технологии.

Техническое решение, описанное в RU2162900C1, раскрывает способ получения системы Ni-Ti с использованием вакуумной индукционной печи, включающий стадии: приготовление смеси исходной шихты путем точного взвешивания исходных компонентов шихты, предварительное обкладывание стенок и дна тигля из высокопрочного графита никелевыми пластинами, закладывание остальной шихты внутрь тигля, расплавление в

вакуумной индукционной печи, выдерживание расплава и разливка его в вакууме в стальные, чугунные или графитовые изложницы. Этот метод не подходит для массового производства многих полезных продуктов на основе интерметаллических соединений с эффектом памяти формы, например, интерметаллических соединений на основе меди, поскольку он относится к производству дорогостоящего продукта на основе титана, который изготавливается по дорогостоящей технологии с использованием вакуумных индукционных печей. Она требует очень точного измерения и дозирования исходных компонентов.

Из US 2018179620 (A1) известен способ получения сплавов с эффектом памяти формы, включающий стадии смешивания никеля и по меньшей мере одного металлоида из группы, содержащей германий, сурьму, цинк, галлий, свинец, индий, висмут, остальное составлял титан, при этом расплав нагревают при температуре от 700 до 1300°C в течение 50 - 200 часов. Может проводиться старение сплава, а также добавляться алюминий. Этот способ также не подходит для массового производства изделий на основе интерметаллических соединений с эффектом памяти формы, так как в вакуумных печах применяется дорогой титансодержащий продукт. Он требует очень точного измерения и дозирования исходных компонентов. Способ производства сплава на основе железа с эффектом памяти формы, раскрытый в JP 2004115864, также требует очень точного измерения и дозирования исходных компонентов без обеспечения гибкого управления производственным процессом.

В металлургическом производстве известны различные методы управления, которые делают производственный процесс более надежным, а получаемые изделия приближают к требуемым свойствам.

Из US2008302503A1 известен способ адаптивного управления получением металлического сплава в металлургической печи путем предварительного расчета количеств легирующих компонентов и количеств исходного и добавляемого основного компонента. Этот известный способ включает следующие стадии: определение количества расплава в печи и количества основного компонента; расчет ожидаемых физико-механических свойств, таких как прочность расплава и индекс усадки, с использованием термохимических анализов и расчетных математических моделей; компьютерное сравнение количества формообразователей в исходном составе, вводимом в расплав в печи и/или ванне для обеспечения требуемых физико-механических свойств, с фактическими исходными количествами компонентов; непрерывное оптимальное определение добавляемых количеств и

добавление рассчитанных количеств в расплав. Этот способ имеет то преимущество, что процесс осуществляется в одну стадию и, таким образом, позволяет оптимально отрегулировать состав расплава в пределах заданных технологических ограничений. Метод подходит для использования при небольших отклонениях от изначально установленных значений вложенных компонентов. Раскрытый способ не подходит для использования в процессе массового производства интерметаллических соединений, особенно в небольших количествах, поскольку не является гибким и в основном зависит от очень точного первоначального определения количеств используемых компонентов и расположения их слоев в печи. Последующая корректировка количеств также должна быть очень точной, что значительно увеличивает стоимость процесса. При этом качества и свойства отлитого образца оценивают косвенно по расчетам и схемам, а не путем непосредственной проверки.

Большинство известных технологий не учитывают всех факторов. Достижение реальных характеристик качества и параметров полученных интерметаллических соединений определяют только после завершения технологического процесса и заливки расплава в формы. Для получения расплава интерметаллических соединений с требуемыми характеристиками и параметрами необходимо предпринимать многократные попытки. Все это требует дополнительных энергозатрат, трудозатрат, не обеспечивает эффективного использования производственных мощностей и в конечном итоге приводит к повышению стоимости получаемого продукта на основе интерметаллических соединений, таким образом снижая конкурентоспособность этих материалов и ограничивая их использование.

Известные технологии улучшения характеристик получаемых интерметаллических соединений вынуждают использовать разные подходы, но они не решают главной проблемы, а лишь предлагают методики, которые оказывают влияние только на некоторые свойства конечного продукта.

Краткое раскрытие настоящего изобретения

Задачей настоящего изобретения является разработка технологии производства функциональных продуктов на основе интерметаллических соединений, в которой процесс плавления осуществляется в одну стадию, и посредством которой можно получать функциональные композиции, обладающие требуемым качеством.

Задача изобретения достигается за счет способа гибкого производства интерметаллических соединений, включающего следующие стадии: загрузку в плавильную печь исходных компонентов в заранее определенных количествах и соотношениях, исходя из заданных физических параметров и физико-механических характеристик конечного продукта; плавку исходных компонентов при заданных режимах плавильной печи; перемешивание и отверждение расплава с получением конечного продукта интерметаллического соединения, где перед отверждением расплава до получения конечного продукта по меньшей мере один раз отбирают по меньшей мере один образец расплава, анализируют образец и, при необходимости, добавляют дополнительные количества и/или компоненты при последующем перемешивании. Здесь гибкое производство означает способность способа путем обратной связи за счет измерения физико-механических параметров и характеристик промежуточных образцов легко адаптировать всю производственную систему для соответствия будущим требованиям и изменениям, которые неизбежно произойдут. Согласно изобретению, это достигается посредством следующих стадий: после отбора каждого промежуточного образца проводят стадию отверждения образца и анализ отвержденного образца путем измерения фактических физико-механических свойств и характеристик материала образца, и, при необходимости, корректируют состав расплава и/или параметры режима работы плавильной печи.

Преимущество способа по изобретению заключается в немедленном и непосредственном измерении характеристик и свойств конечного продукта и демонстрации наличия желаемого конечного эффекта при использовании интерметаллического соединения. Хорошо известно, что получение интерметаллических соединений, в том числе с эффектом памяти формы, также как и плавка исходных компонентов в открытой печи при атмосферном давлении — это сложный по существу процесс. Свойства и характеристики получаемых материалов определяются многими факторами, в том числе точным количеством и качеством компонентов химического состава расплава. Известно, что в течение процесса могут происходить изменения, например, из-за неточного дозирования или использования исходных материалов более низкого качества, потери паров, в том числе из-за неточной настройки режимов плавильной печи. Все это отражается на расплаве, и готовый продукт легко может приобрести другие качества и характеристики.

Поэтому очень важно своевременно принять меры по компенсации возможных ошибок в определении массы исходных компонентов или в определении степени чистоты приготовленной смеси. Также необходимо иметь возможность компенсировать неточно определенные и установленные режимы работы печи или их гибкое изменение в процессе плавки. Это факторы, которые существенно влияют на ожидаемые физико-механические, в том числе термомеханические, характеристики и параметры конечного интерметаллического соединения. Также оказывают влияние и режимы технологического процесса, поскольку, как известно, в процессе плавки в расплаве могут происходить необратимые изменения, что может приводить к отклонениям характеристик и параметров получаемых интерметаллических соединений, в том числе обладающих эффектом памяти формы.

Предлагаемый способ позволяет непосредственно и точно контролировать заданные свойства и характеристики материала и более, чем однократно, гибко компенсировать неточности и/или вводить другие режимы работы печи и/или вносить желаемые изменения в состав расплава, обеспечивая изначально искомые или вновь заданные физико-механические свойства и характеристики конечного изделия. Способ обеспечивает получение конечного продукта с программируемыми свойствами за один процесс плавки и одну загрузку плавильной печи. Способ обеспечивает эффективную точность при составлении химического состава исходных компонентов, загружаемых в плавильную печь. Он также обеспечивает возможность периодического мониторинга функциональных параметров промежуточных образцов, соответствующих конечным продуктам, функциональные параметры которых зависят от соотношения и вида компонентов расплава. Способ позволяет повысить степень автоматизации массового производства. В результате получают функциональные материалы с требуемыми характеристиками, определяемыми производственным заданием, без многократного повторения процесса плавки. Способ гарантирует существенное снижение или исключение необратимого брака, связанного с необратимыми изменениями химического состава конечного продукта. Таким образом, способ оказывается эффективным и применимым как для малых количеств, так и для больших серий. Его можно с успехом использовать как в единичном, так и в массовом производстве современных функциональных и инновационных изделий на основе интерметаллических соединений, в том числе с эффектом памяти формы. Метод позволяет повысить эффективность технологий получения широкого спектра

интерметаллических соединений с желаемыми и востребованными свойствами и расширить возможности их использования в различных областях человеческой деятельности.

В одном варианте осуществления способа плавильная печь представляет собой открытую печь, работающую при атмосферном давлении. Это позволяет избежать использования специального и дорогостоящего оборудования, когда используются компоненты, производство на основе которых не подвержено влиянию атмосферного воздуха и давления.

В другом варианте осуществления способа интерметаллическое соединение представляет собой интерметаллическое соединение с эффектом памяти формы, а измеряемые и/или заданные физико-механические свойства и характеристики промежуточного отвержденного образца и/или конечного продукта представляют собой термомеханические свойства и характеристики. Предпочтительно, интерметаллическое соединение с эффектом памяти формы представляет собой бинарное соединение Cu-X на основе меди или многоэлементное соединение Cu-X-Y, где Y и/или X выбраны из элементов групп II-VI периодической таблицы. Таким образом, значительно удешевляется производство и значительно расширяются возможности массового внедрения изделий, изготовленных из интерметаллических соединений, в бытовом хозяйстве и промышленности.

В еще одном варианте изобретения, по меньшей мере, количество и вид скорректированных и/или исходных компонентов расплава, скорректированных и/или исходных режимов работы плавильной печи, а также соответствующие измеренные физико-механические свойства и характеристики материала отвержденного образца, заносятся в память компьютера и формируют рабочую базу данных. Это обеспечивает возможность полной автоматизации процесса за счет упрощения выбора технологических данных, обеспечивающих желаемые характеристики конечной продукции.

Также задачей настоящего изобретения является создание устройства для анализа промежуточных отвержденных образцов интерметаллических соединений, пригодного для осуществления вышеописанного способа гибкого производства интерметаллических соединений. Устройство по изобретению содержит по меньшей мере один измерительный модуль, соединенный с модулем отображения и хранения информации. Измерительный модуль (модули) содержит приборы, позволяющие измерять физико-механические свойства и характеристики образца, при этом по крайней мере один из измерительных модулей включает приборы для измерения термомеханических свойств и характеристик образца. Модуль

отображения и хранения информации содержит контроллер, соединенный с каждым из измерительных модулей, который способен обрабатывать и хранить данные измерений физико-механических свойств и характеристик каждого промежуточного отвержденного образца интерметаллического соединения, а также дисплей для управления процессом измерения. Модуль отображения и хранения информации также содержит память и дисплей для управления измерением промежуточных отвержденных образцов.

В одном из вариантов устройства, приборы для измерения термомеханических свойств и характеристик образца включают по меньшей мере один тензометрический датчик или тензомер и по меньшей мере один пирометр или дилатометр, а также нагреватель для изменения температуры анализируемого промежуточного образца до требуемой температуры фазового превращения. Это обеспечивает работоспособность устройства при использовании в гибких способах получения интерметаллических соединений, в том числе с эффектом памяти формы.

В другом варианте устройства, по крайней мере, модуль отображения и хранения информации размещен в портативном переносном контейнере, а контроллер представляет собой микроконтроллер, способный взаимодействовать с внешней компьютерной системой. Этот вариант делает возможным использование более дешевых и универсальных элементов с упрощенными функциями в самом устройстве, позволяя памяти и сложным вычислительным процессам выполняться на внешнем компьютере. Это помогает значительно снизить стоимость устройства, а также сделать его портативным переносным устройством.

В еще одном варианте устройства по изобретению контроллер представляет собой программируемый контроллер, способный сравнивать измеренные данные с заданными значениями физико-механических, в том числе термомеханических параметров, и характеристик материала конечного интерметаллического соединения, рассчитывать количества индивидуальных компонентов состава интерметаллического соединения для обеспечения физико-механических, в том числе термомеханических свойств, и характеристик материала конечного продукта интерметаллического соединения. Этот вариант осуществления изобретения обеспечивает устройство с большим количеством функций, что является рентабельным для крупных отраслей промышленности. Предпочтительно, чтобы контроллер мог подавать сигнал исполнительным устройствам или исполнительным механизмам всей системы литья, содержащей литейную печь, а также был способен управлять базами данных,

содержащими значения физико-механических, в том числе термомеханических, свойств и характеристик конечного интерметаллического соединения, значения количеств индивидуальных компонентов, входящих в состав интерметаллического соединения и, в некоторых случаях, также содержащими параметры режимов работы литейной печи. Таким образом, устройство по изобретению выполнено как автономное интеллектуальное устройство для автоматического управления процессом изготовления продуктов на основе интерметаллических соединений.

Краткое описание чертежей

На **фиг. 1** показана функциональная схема стадий и этапов способа получения интерметаллического соединения согласно изобретению.

На **фиг. 2** представлена функциональная блок-схема устройства для анализа промежуточных образцов интерметаллических соединений.

На **фиг. 3 и 4** представлены термомеханические характеристики анализируемого интерметаллического соединения при финальных и промежуточных измерениях, соответственно.

На **фиг. 5** показан внешний вид портативного переносного устройства для анализа промежуточных образцов интерметаллических соединений.

Подробное раскрытие настоящего изобретения

Настоящее изобретение демонстрируется на прилагаемых чертежах, где показан один предпочтительный вариант осуществления способа и устройства, наиболее подходящий для широкого применения.

На иллюстративной функциональной схеме, представленной на **фиг.1**, показаны стадии и этапы иллюстративного способа получения интерметаллического соединения с эффектом памяти формы, имеющего заданные характеристики. Номером **1** обозначен этап подготовки исходных компонентов для получения расплава, включающий подготовительные стадии по определению типа и расчету количества исходных компонентов в соответствии с требуемыми термодинамическими характеристиками конечного продукта и последующим дозированием масс указанных исходных компонентов согласно требуемому химическому составу. Его осуществляют известными в области металлургической промышленности способами. В данном случае этот иллюстративный способ предназначен для полуавтоматического производства

интерметаллического соединения на основе меди - бинарного Cu-Al или многоэлементного Cu-Zn-Al, Cu-Al-Mn, Cu-Ni-Al или Cu-Al-Zn, при котором автоматизирован процесс анализа характеристик и свойств материала.

Способ по изобретению является особенно эффективным и подходящим также для использования в производстве других интерметаллических соединений, в том числе тех, для которых не наблюдается эффекта памяти формы. К ним относятся интерметаллические соединения, компоненты которых не окисляются, и также могут быть получены в открытых печах при атмосферном давлении. Например, это такие интерметаллические соединения, как Cu-Sn, Cu₆Sn₅, Li₂CuSn, Li₉Cu₆Sn₅, Cu₂Sb.

Этот способ также может быть адаптирован и применен для вакуумных или работающих с другой газовой средой индукционных печей, используемых при производстве важных функциональных изделий из дорогостоящих интерметаллических соединений на основе титана или на основе других тугоплавких и окисляющихся металлов. Такими являются соединения типа Ni-Ti-Nb-Zr, Ni-Ti-Nb-Al, Ti-Ni-Cu-Mo, имеющие особенно важное и специальное применение. Способ по изобретению может обеспечить повышенную эффективность производственного процесса и снизить риск брака из-за недостижения итоговых параметров и характеристик конечного продукта.

Стадия 2 иллюстративного примера предусматривает загрузку исходных компонентов в тигель индукционной печи с газозвушной средой при атмосферном давлении и последующую их плавку в соответствии с параметрами режима работы плавильной печи. Стадия 3 предусматривает этапы отбора промежуточных образцов расплава и отверждения образцов, которые осуществляют стандартными и хорошо известными в металлургической области способами, например охлаждением при комнатной температуре. На стадии 4 описываемого примера проводятся этапы определения и анализа термомеханических характеристик и параметров отвержденного промежуточного образца посредством специализированного устройства (**фиг.2**) для анализа твердого образца интерметаллического соединения, полученного способом по изобретению. В представленном примере в ходе стадии 4 также осуществляется сравнение измерений термомеханических характеристик и параметров отвержденного образца с требуемыми термодинамическими характеристиками конечного продукта. Если результаты сравниваемых измерений не совпадают и выходят за допустимые пределы, выполняется стадия 5, на которой проводятся этапы анализа причины и

корректировки содержания отдельных компонентов сплава и, при необходимости, режимов работы печи. Время, необходимое для выполнения описанных анализов, не превышает 0,5 % от общего времени полного процесса получения интерметаллических соединений, в том числе с эффектом памяти формы.

Этапы стадий **3, 4 и 5** повторяются до тех пор, пока не будут достигнуты требуемые термодинамические характеристики конечного продукта (**фиг.3**).

Понятно, что метод также подходит и для получения интерметаллических соединений путем измерения других физико-механических характеристик промежуточных отвержденных образцов, таких как прочность, стабильность, твердость, эластичность, пластичность, электропроводность и сверхпроводимость, кристаллическая структура и других известных и востребованных характеристик интерметаллических соединений, измерения которых проводят с помощью известных измерительных средств.

После того, как измеренные характеристики образца совпадут с требуемыми характеристиками конечного продукта, способ переходит к стадии **6**, на которой процесс плавки в плавильной печи прекращается и осуществляется разливка расплава. Литейные формы могут быть изготовлены из графита или другого материала, и должны обеспечивать отливку требуемой формы и размера, например в виде брусков, плиток или других форм.

Описанный иллюстративный вариант осуществления изобретения показывает эффективность предлагаемого способа. Понятно, что способ является гибким и может быть очень быстро перенастроен по ходу процесса. Обеспечивается эффективное использование основных ресурсов для производства интерметаллических соединений, в том числе с эффектом памяти формы, а также достигается значительное снижение производственных затрат. Способ имеет повышенную конкурентоспособность и позволяет значительно расширить область применения таких материалов. Осуществление предлагаемого способа позволяет снизить энергозатраты и повысить эффективность использования технологического оборудования и человеческих ресурсов в два раза и более.

Осуществление предлагаемой технологии обеспечивается за счет применения специализированного устройства для анализа отвержденных промежуточных образцов расплава интерметаллического соединения. С помощью данного устройства непосредственно в ходе процесса проводят экспресс-анализ термомеханических и других физико-механических характеристик и параметров образцов расплава.

На **фиг.2** показан один из примеров функциональной блок-схемы аппарата для анализа промежуточных образцов интерметаллических соединений согласно изобретению, а на **фиг.5** показан примерный внешний вид устройства. Устройство выполнено по модульному принципу и включает как минимум один измерительный модуль **I**, в данном случае одиночный модуль, и модуль **II** для отображения и хранения информации. Измерительный модуль **I**, показанный на **фиг.2**, содержит блок питания **7** и нагреватель **8**. Блок питания **7** на своем входе подключен к сети электроснабжения ~ 220 В, а на выходе соединен с нагревателем **8**. Образец **9** охлажденного и отвержденного расплава интерметаллического соединения, в случае наличия эффекта памяти формы, стационарно закрепляется и располагается вблизи нагревателя **8** с возможностью его нагрева до температуры, необходимой для фазового превращения. Интерметаллическое соединение в этом случае представляет собой соединение на основе меди, например бинарное соединение Cu-Al или многоэлементное соединение Cu-Zn-Al, Cu-Al-Mn, Cu-Ni-Al или Cu-Al-Zn. В этом примере измерительный модуль **I** также включает по меньшей мере один тензометрический датчик или тензометр **10**, соединенный с образцом **9**, и по меньшей мере один пирометр или дилатометр **11**. Пирометр **11** расположен рядом с образцом **9**. В данном примере он представляет собой бесконтактный датчик температуры типа MLX90614ESF-DCI. В измерительном модуле **I** образец **9** нагревают до температуры фазового превращения и измеряют значения температуры и генерируемого усилия образца **9**. В данном случае тензометрический датчик **10** представляет собой микронагрузочное устройство типа CZL635 и предназначен для измерения сил сжатия. Он работает по принципу изменения сопротивления тензометрических резисторов.

Измерительные модули могут быть разделены и могут включать другие известные измерительные средства и инструменты для измерения прочности, стабильности, твердости, эластичности, пластичности, электропроводности и сверхпроводимости, кристаллической структуры, магнитных свойств и других известных и востребованных характеристик интерметаллических соединений.

Модуль **II** для отображения информации и хранения данных содержит контроллер на базе микроконтроллера **13**. В иллюстративном варианте осуществления изобретения микроконтроллер **13** относится к типу ATmega2560. Модуль **II** дополнительно содержит дисплей **14**, соединенный с микроконтроллером **13**. Дисплей **14** в данном случае представляет собой сенсорный экран типа 7 " Nextion HMI LCD Touch Display. Пирометр **11** соединен с

микроконтроллером **13** с возможностью передачи данных соответствующего измерения. Аналого-цифровой преобразователь **12**, типа НХ-711, соединяет тензодатчик **10** с микроконтроллером **13**. Модуль **II** также содержит блок питания **15**, подключенный на своем входе к сети электроснабжения ~220 В, а на выходе - к дисплею **14**. Кроме того, к микроконтроллеру **13** подключены память **16** для хранения данных, в данном случае типа MicroSD, и датчик **17** для измерения показателей окружающей среды.

При этом информация, полученная в процессе анализа от микроконтроллера **13**, сохраняется в памяти **16** и передается на компьютер (на чертежах не показан) для дальнейшей обработки и использования, например, на персональный компьютер.

При этом прибор для анализа промежуточных образцов интерметаллических соединений выполнен в виде портативного переносного устройства, внешний вид которого, показанный на **фиг.5**, аналогичен внешнему виду ноутбука. Портативное устройство содержит корпус **18**, внутри которого размещены элементы модуля **II** (на чертеже не показаны) - микроконтроллер **13**, аналого-цифровой преобразователь **12**, блок питания **15**, память **16** и датчик **17** для измерения показателей окружающей среды. На передней панели корпуса **18** в показанном примере установлены элементы Модуля **I**, а также дисплей **14**. Дисплей **14** представляет собой дисплей сенсорного типа с возможностью задания команд СТАРТ и СТОП, а также отображения данных измерений, полученных от датчиков - тензодатчика **10** и пирометра **11**. Дисплей **14** в других случаях (не показаны) может отображать данные измерений и/или сравнение с заданными значениями физико-механических, в том числе термомеханических параметров. Показан держатель **19**, в котором закреплен образец **9**. Нагреватель **8**, пирометр **11** и тензометр **10** надлежащим образом установлены на передней панели корпуса **18**. Образец **9** в этом случае представляет собой проволоку цилиндрической формы, которая была предварительно деформирована. Целесообразно, чтобы образец **9** имел диаметр от 0,5 до 3 мм и длину от 50 до 80 мм, без ограничений этими значениями. Связь между персональным компьютером и описываемым устройством для анализа промежуточных образцов интерметаллических соединений по изобретению осуществляется через последовательный интерфейс - USB-кабель (не показан). Устройство снабжено крышкой **20**, соединенной с корпусом **18** посредством шарнира **21**. После включения питания **7** нагреватель **8** нагревает образец **9** до температуры фазового превращения, измеряемой пирометром **11**, затем образец

возвращается в вертикальное положение и тензодатчик или тензометр **10** измеряет полученную силу.

В отношении интерметаллических соединений известно, что эффект памяти формы характерен для термоупругого мартенсита, а основными параметрами, определяющими применение соединений в качестве функциональных материалов, являются температура начала мартенситного превращения, температурный интервал эффекта памяти, величина обратной деформации и фактическая ширина температурного гистерезиса.

На **фиг. 3 и 4** представлены графики зависимости термомеханических свойств интерметаллического соединения с эффектом памяти формы от температуры нагрева, полученные при окончательных и промежуточных измерениях соответственно. На **фиг.3** точка **А** показывает температуру, при которой начинается восстановление формы образца **9**, а буквой **В** обозначена кривая, отражающая термомеханические характеристики образца при нагреве.

Вышеуказанные характеристики и преимущества предлагаемого способа можно проиллюстрировать следующими примерами. Во всех трех примерах для анализа промежуточных образцов по изобретению использовали вышеописанное устройство.

ПРИМЕР 1. Способ получения интерметаллического соединения с эффектом памяти формы, имеющего заранее определенную температуру начала восстановления формы $50 \pm 2^\circ\text{C}$.

Предварительно отобранные и взвешенные исходные химические компоненты расплава, например, Cu-Al-Mg, помещали в открытую индукционную печь при атмосферном давлении, предпочтительно в графитовом тигле. Процесс плавки осуществляли в соответствии с функциональной схемой способа, приведенной на **фиг.1**. В процессе плавки было проведено три экспресс-анализа термомеханических характеристик и параметров расплава с использованием стержнеобразных отвержденных промежуточных образцов расплава, диаметром 1,5 мм и длиной 80 мм. Регистрировали температуру начала процесса восстановления формы. После анализа каждого из первых двух образцов химический состав расплава корректировали и регулировали. После второй корректировки третьего образца были достигнуты заданные параметры конечного продукта и процесс литья был прекращен.

Конечный продукт представляет собой слиток массой 1 кг с термомеханическими параметрами, соответствующими заданным, с достигнутой температурой начала

восстановления формы 51°C , что находится в пределах нормы. Погрешность определения температуры начала восстановления формы образца в процессе промежуточного контроля не превышает 1 %. Результаты измерений и анализов представлены в Таблице 1 ниже.

Таблица 1

Номер образца	Установленная температура начала восстановления формы, $^{\circ}\text{C}$	Фактически измеренная температура начала восстановления формы, $^{\circ}\text{C}$
1 (исходные компоненты)	50 +/- 2	64
2 (после первой корректировки)	50 +/- 2	56
3 (после второй корректировки)	50 +/- 2	51

ПРИМЕР 2. Способ получения интерметаллического соединения с эффектом памяти формы, имеющего заранее определенную температуру начала восстановления формы $70\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Использовались те же условия, что и в Примере 1, способ осуществляли таким же образом. Был получен итоговый образец с заданной температурой начала восстановления формы $69,5^{\circ}\text{C}$. Результаты представлены в Таблице 2.

Таблица 2

Номер образца	Установленная температура начала восстановления формы, $^{\circ}\text{C}$	Фактически измеренная температура начала восстановления формы, $^{\circ}\text{C}$
1 (исходные компоненты)	70 +/- 2	61
2 (после первой корректировки)	70 +/- 2	66
3 (после второй корректировки)	70 +/- 2	69,5

ПРИМЕР 3. Способ получения интерметаллического соединения с эффектом памяти формы, имеющего заранее определенную температуру начала восстановления формы $90\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Использовались те же условия, что и в Примере 1, способ осуществляли таким же образом. Был получен итоговый образец с заданной температурой начала восстановления формы 91°C . Результаты представлены в Таблице 3.

Таблица 3

Номер образца	Установленная температура начала восстановления формы, °С	Фактически измеренная температура начала восстановления формы, °С
1 (исходные компоненты)	90 +/- 2	105
2 (после первой корректировки)	90 +/- 2	82
3 (после второй корректировки)	90 +/- 2	86
4 (после третьей корректировки)	90 +/- 2	91

Вышеприведенные примеры показывают, что использование способа и устройства по изобретению позволяет получать конечный продукт интерметаллического соединения из одного расплава за счет корректировки свойств расплава в ходе процесса, как в случае превышения ожидаемого значения требуемой температуры, так и в случае ее более низкого значения.

Все итоговые интерметаллические продукты обладают необходимыми физико-механическими, в показанных случаях - термомеханическими характеристиками и параметрами, в том числе требуемой температурой начала восстановления формы конечного продукта.

Хотя вышеприведенное описание содержит множество деталей, их следует рассматривать не как ограничивающие объем изобретения, а лишь как иллюстрацию некоторых из предпочтительных в настоящее время вариантов осуществления данного изобретения. Таким образом, объем данного изобретения должен определяться прилагаемой формулой изобретения и ее юридическими эквивалентами.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ гибкого производства интерметаллических соединений, включающий следующие стадии:

загрузку в плавильную печь исходных компонентов в заранее определенных количествах и соотношениях, исходя из заданных физических параметров и физико-механических характеристик конечного продукта;

плавку исходных компонентов при заданных режимах плавильной печи;

перемешивание и отверждение расплава с получением конечного продукта интерметаллического соединения,

где перед отверждением расплава до получения конечного продукта по меньшей мере один раз отбирают по меньшей мере один промежуточный образец расплава, анализируют образец и, при необходимости, добавляют дополнительные количества и/или компоненты при последующем перемешивании, отличающийся тем, что:

- после взятия образца (9) проводят этап отверждения образца (9);
- проводят анализ отвержденного образца (9), включая измерение фактических физико-механических свойств и характеристик материала образца (9); и,
- при необходимости, также корректируют параметры режима работы плавильной печи.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что плавильная печь представляет собой печь, работающую при атмосферном давлении.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что интерметаллическое соединение представляет собой интерметаллическое соединение с эффектом памяти формы, а измеренные и/или заданные физико-механические свойства и характеристики отвержденного образца (9) и/или конечного продукта представляют собой тепломеханические свойства и характеристики.

4. Способ по п.3, отличающийся тем, что интерметаллическое соединение с эффектом памяти формы представляет собой соединение на основе Cu, такое как бинарное соединение Cu-X или многоэлементное соединение Cu-X-Y, где Y и/или X выбраны из элементов II - VI групп периодической таблицы.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что, по меньшей мере, количества и вид скорректированных и/или исходных компонентов расплава, скорректированных и/или

исходных режимов работы плавильной печи, а также соответствующие измеренные физико-механические свойства и характеристики отвержденного образца (9) хранятся в памяти (16) и образуют рабочую базу данных.

6. Устройство для анализа отвержденных образцов интерметаллических соединений, полученных способом гибкого производства интерметаллических соединений по п.1, отличающееся тем, что оно включает:

- по меньшей мере один измерительный модуль (I), содержащий приборы для измерения физико-механических свойств и характеристик по меньшей мере одного отвержденного промежуточного образца расплава (9) из плавильной печи, в том числе приборы (10, 11) для измерения термомеханических свойств и характеристики отвержденного образца (9) ;

- модуль (II) для отображения и хранения информации, содержащий контроллер (12) для обработки и хранения данных измерений физико-механических свойств и характеристик каждого отвержденного образца (9), соединенный с измерительными приборами;

- модуль (III) для отображения и хранения информации дополнительно содержит память (16) и дисплей (14) для управления процессом измерения промежуточных отвержденных образцов (9).

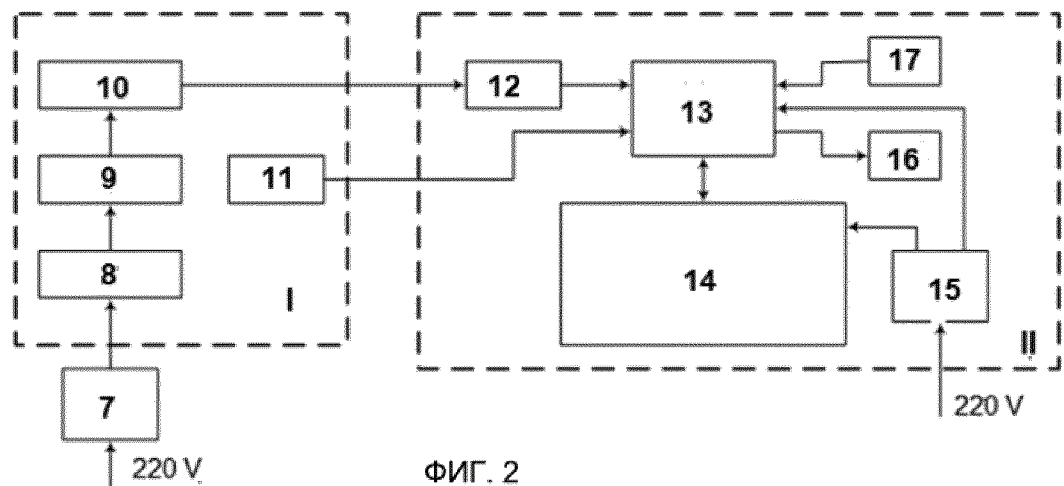
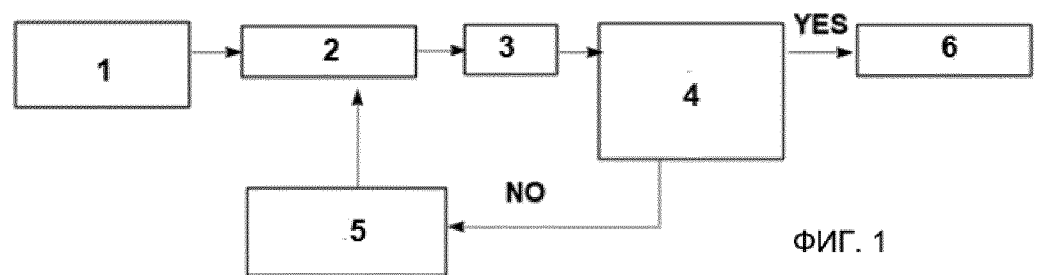
7. Устройство по п.6, отличающееся тем, приборы для измерения термомеханических свойств и характеристик образцов включают по меньшей мере один тензометрический датчик или тензомер (10) и по меньшей мере один пирометр или дилатометр (11), а также нагреватель (7) для изменения температуры анализируемого образца (9) до требуемой температуры фазового превращения материала образца.

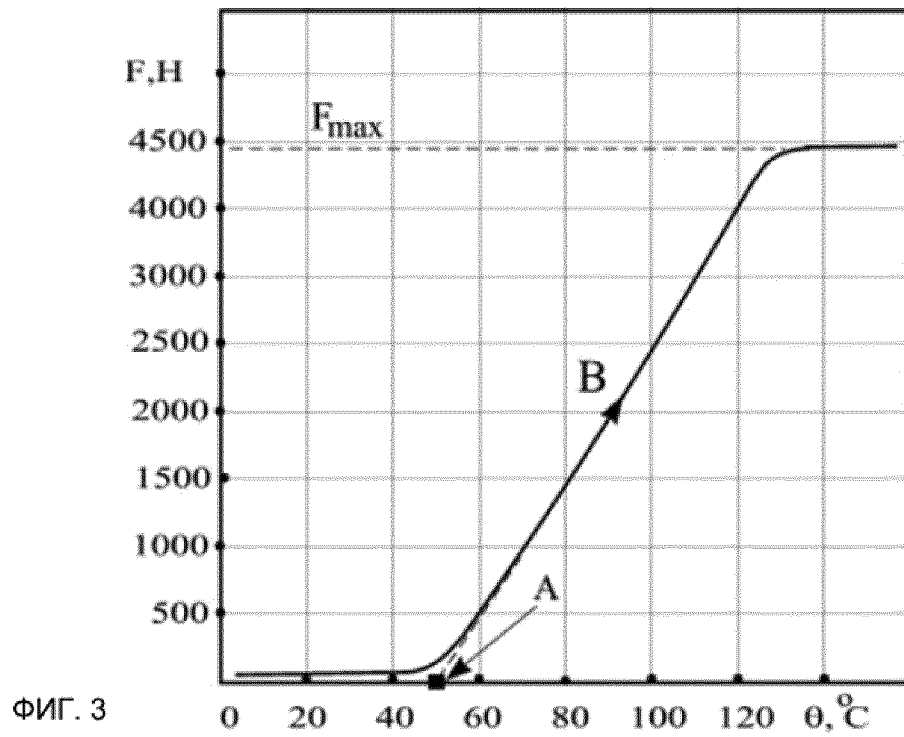
8. Устройство по п.6, отличающееся тем, что, по крайней мере, модуль отображения и хранения информации (III) размещен в портативном переносном контейнере (18), а контроллер (12) представляет собой микроконтроллер, способный взаимодействовать с внешней компьютерной системой.

9. Устройство по п.6, отличающееся тем, что контроллер (12) представляет собой программируемый контроллер, выполненный с возможностью сравнивать измеренные данные с заданными значениями физико-механических, в том числе термомеханических, параметров и характеристик материала конечного продукта интерметаллического соединения,

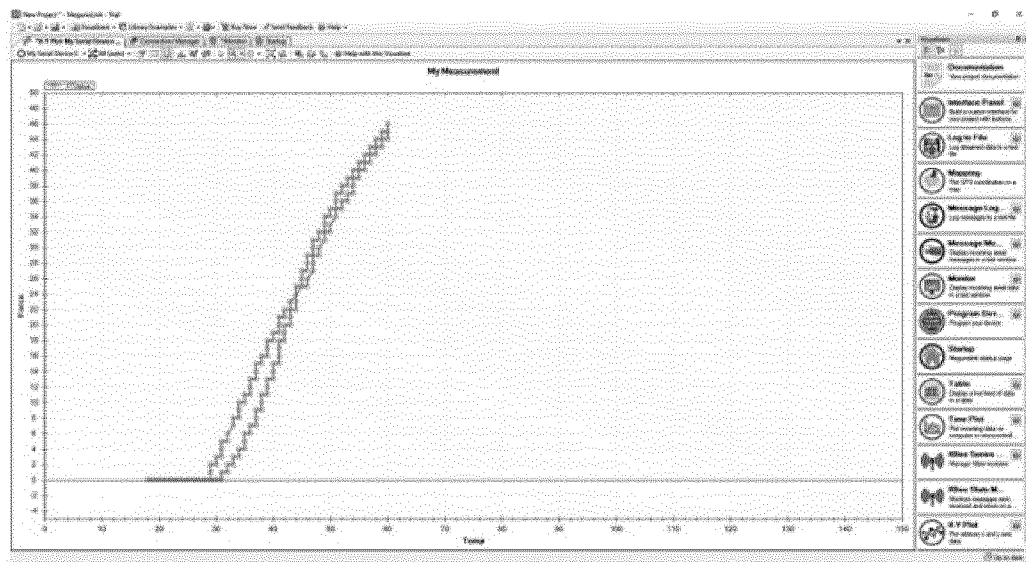
рассчитывать количества индивидуальных компонентов состава интерметаллического соединения для обеспечения физико-механических, в том числе термомеханических свойств, и характеристик материала конечного продукта интерметаллического соединения.

10. Устройство по п.9, отличающееся тем, что контроллер (12) выполнен с возможностью подачи сигналов на исполнительные устройства или исполнительные механизмы системы литья, а также с возможностью управления базами данных, содержащими значения физико-механических свойств и характеристик материала конечного интерметаллического соединения, значения параметров или количества индивидуальных компонентов, входящих в состав интерметаллического соединения, и параметры режимов работы литейной печи.





ФИГ. 3



ФИГ. 4

