**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Казанский национальный исследовательский технический**

**университет им. А. Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)**

Институт авиации, наземного транспорта и энергетики

Кафедра Материаловедения, сварки и производственной безопасности

**Курсовой проект**

по дисциплине: «Теория и технология процессов производства, обработки и переработки материалов и нанесения покрытий»

на тему: «Порошки для лазерной наплавки»

Выполнил:

 обучающийся группы 1410 Пакреев Я.А.

 Проверил:

д.т.н., проф. каф. МСиПБ Ильинкова Т.А.

Казань 2021

**Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation**

**Kazan National Research Technical University**

**named after A. N. Tupolev (KNRTU-KAI)**

Institute of Aviation, Land Transport and Energetics

Department of Material Science, Welding and Industrial Safety

**Term Project**

on discipline: « Theory and technology of processes of production, processing and recycling of materials and coating»

on subject: «Powders for laser cladding»

Completed by a student of group 1410

Pakreev Y.A.

Examined by a

 DS, professor Ilinkova T.A.

Kazan 2021

**АННОТАЦИЯ**

В работе представлено исследование применяемых в лазерной наплавке порошковых материалов, патентный поиск и их изучение с целью получения новых сведений о потенциально новых и перспективных порошковых материалов для лазерной наплавки. Также проведён поиск и аналих патентов на оборудование, которое можно применить для лазерной наплавки, а также новых методов для получения порошковых материалов с их дальнейшим использованием в лазерной наплавке.

Цель работы: представление сведений о новейших разработках в сфере лазерных технологий, а именно лазерной наплавки.

Задачи работы:

1) Ознакомиться с текущим положением в сфере лазерной наплавки - применяемых материалах, способах и методах их получения и дальнейшего лазерного наплавления, а также используемого для этого оборудования;

2) Провести патентный поиск и поиск научных статей и литературы на предмет новейших разработок в сфере лазерной наплавки;

3) Изучить и проанализировать найденные материалы;

4) Представить выводы о потенциальных возможностях, достоинствах и недостатках в применении найденных, изученных и проанализированных новейших технологиях.

Предмет исследования: лазерная наплавка - применяемые материалы, способы и методы их получения и дальнейшего лазерного наплавления, а также используемое для этого оборудование.

Объект исследования: научная литература - статьи, учебные пособия, монографии, патенты.

Гипотеза исследования: поиск новейших порошковых материалов, методов их получения и наплавления, а также оборудование для проведения данных операций с целью их дальнейшего внедрения в существующие технологические процессы для повышения их эффективности и экономичности.

Основные результаты: в ходе проведённого исследования было найдено необходимое количество источников информации (статьи, учебные пособия, монографии, патенты) для получения сведений о новейших материалах и технологиях в сфере лазерной наплавки. Полученные данные в ходе изучения позволили заключить, что на данный момент существует большое количество потенциально эффективных материалов и технологий, применение которых позволит существенно улучшить существующие как технологии, так и процессы по их получению.

**ANNOTATION**

The current work presents a study of powder materials used in laser cladding, patent search and their study in order to obtain new information about potentially new and promising powder materials for laser cladding. Also, a search and analysis of patents for equipment that can be used for laser cladding,

as well as new methods for obtaining powder materials with their further use in laser cladding.

The purpose of the work: to present information about the latest developments in the field of laser technology, namely laser cladding.

Work tasks:

1) Familiarize yourself with the current situation in the field of laser cladding - materials used,

ways and methods of their production and further laser deposition, as well as the equipment used for this;

2) Conduct a patent search and search for scientific articles and literature on the subject of the latest developments in the field of laser cladding;

3) Study and analyze the found materials;

4) Present conclusions about potential opportunities,

advantages and disadvantages in the application of the found, studied and analyzed latest technologies.

Subject of study: laser cladding - materials used, methods and methods for their production and further laser cladding, as well as the equipment used for this.

Object of study: scientific literature - articles, textbooks,

monographs, patents.

Research hypothesis: search for the latest powder materials, methods for their production and fusion, as well as equipment for carrying out these operations in order to further introduce them into existing technological processes to increase their efficiency and economy.

Main results: in the course of the study, the necessary number of information sources (articles, manuals, monographs, patents) were found to obtain information

about the latest materials and technologies in the field of laser cladding. The data obtained during the study made it possible to conclude that

that at the moment there are a large number of potentially effective materials and technologies, the use of which will significantly improve both existing technologies and processes for their production.

**СОДЕРЖАНИЕ**

[ТЕХНОЛОГИЯ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ 9](#_Toc90306992)

[МЕТОДЫ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ 13](#_Toc90306993)

[1. ДВУХЭТАПНОЕ НАПЛАВЛЕНИЕ 14](#_Toc90306994)

[2. ОДНОЭТАПНОЕ НАПЛАВЛЕНИЕ 15](#_Toc90306995)

[2.1. НАПЛАВЛЕНИЕ С РАСПЫЛЕНИЕМ ПОРОШКА 15](#_Toc90306996)

[2.2. НАПЛАВЛЕНИЕ С ПОДАЧЕЙ ПРОВОЛОКИ 16](#_Toc90306997)

[2.3. НАПЛАВЛЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАСТЫ 17](#_Toc90306998)

[МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ 18](#_Toc90306999)

[МЕТОДЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПОРОШКОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ 20](#_Toc90307000)

[1. РАСПЫЛЕНИЕ 21](#_Toc90307001)

[2. ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ 23](#_Toc90307002)

[2.1. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКСИДОВ 23](#_Toc90307003)

[2.2. ОСАЖДЕНИЕ ИЗ РАСТВОРА 24](#_Toc90307004)

[2.3. ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ 25](#_Toc90307005)

[ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ И ТЕХНОЛОГИИ В СФЕРЕ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ 27](#_Toc90307006)

[1. НОВЕЙШИЕ ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ 27](#_Toc90307007)

[2. НОВЕЙШЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА 47](#_Toc90307008)

[3. НОВЕЙШИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ 51](#_Toc90307009)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 54](#_Toc90307010)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 55](#_Toc90307011)

[ПРИЛОЖЕНИЕ](#_Toc90307012)

# ВВЕДЕНИЕ

Потребности современного мира ведут человечество к совершенствованию текущих и разработке новейших технологий во всех сферах его деятельности. Эти преобразования неостановимы и неизбежны. Результатом этого стало появление и последующее развитие такой технологии в порошковой металлургии, как лазерная наплавка.

Лазерная наплавка – один из новейших и перспективных методов эффективного нанесения и эксплуатации порошковых покрытий. Она позволяет улучшить качества не только изготовляемых деталей, но и уже используемых изделий, поверхность которых требует восстановления и упрочнения.

Лазерная наплавка обладает многими преимуществами по сравнению с обычными процессами нанесения покрытий. Метод лазерной наплавки позволяет получить гораздо лучшее покрытие с минимальным разбавлением, минимальными искажениями и лучшим качеством поверхности.

Существует ряд преимуществ использования этой технологии: покрытие с поверхностью, обладающей малой шероховатостью; однородная структура; хорошая зернистая структура покрытия; получаемое покрытие обладает свойствами аналогичными или даже лучшими по сравнению с материалом изделия; возможность наплавки покрытий на детали сложной конфигурации в один этап.

Вовлечённость исследователей в развитие данной технологии отражается в количестве зарегистрированных и регистрируемых патентов на создаваемые ими как новые способы наплавления и производства, так и уникальные материалы, обладающие как общими, так и специфичными, предназначенными для конкретной области применения способами.

Данная работа включает в себя описание технологии лазерной наплавки, существующих материалах для наплавления, о методах как производства, так и наплавления, а также представлены новейшие разработки в этой области.

# ТЕХНОЛОГИЯ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

По своей сути, лазерная наплавка – это процесс лазерной сварки, при котором отдельные сварные швы выравниваются и укладываются на материал подложки. В своей простейшей форме он используется для покрытия металлических поверхностей металлами или карбидами. Типичными областями применения являются упрочнение механических деталей, которые используются в абразивных или агрессивных средах. Облицовка пластичной круглой заготовки твёрдым и износостойким металлом улучшает трибологические свойства зубчатых колёс и подшипников. По сравнению с другими процессами наплавки, процесс на основе лазерной технологии имеет множество возможностей, и поэтому большие инвестиции часто оправданы. Аддитивное производство с лазерной наплавкой развивалось с необходимостью ремонта изношенных волочильных штампов для штамповки металла. Кроме того, возможно усиление конструкций повышенной сложности, используемых в автомобильной промышленности. [1]

Начиная с источника лазерного луча, лазерный луч направляется к технологической головке по оптическому волокну. Луч проходит через сходящуюся линзу, которая коллимирует луч, т.е. создаёт тонкие параллельные потоки исходного излучения. Луч отражается от дихроичного зеркала под углом 45°. Зеркало является пропускающим для пирометра и длины волны камеры. Объединённые технологические и сенсорные лучи фокусируются на подложке. Заготовка расплавляется локально через кольцевое сопло. Защитный газ и металлический порошок добавляются коаксиально. Перемещение технологической головки приводит к образованию сварных швов, которые могут быть ориентированы в направлении X и Y. Объёмное наращивание создаётся путём укладки слоёв и переплавки ранее напечатанного материала.

Типичная установка для лазерной наплавки для аддитивного производства состоит из лазерного источника, обрабатывающей головки, блока цифрового управления и корпуса. Материал может быть добавлен в виде проволоки или порошка. Необходимая мощность лазера зависит от материала и необходимой скорости осаждения. Обычно используются диодные, волоконные или дисковые лазеры ближнего инфракрасного диапазона мощностью 0,5–3 кВт. Представленная на рисунке 1.1. установка оснащена диодным лазером мощностью 680 Вт, шестью независимыми осями перемещения и габаритными размерами 1000×1500×1000 мм (Ш×В×Г). Она оснащён коаксиальной обрабатывающей головкой на основе порошка. Для управления технологическим процессом имеется пирометр и система компьютерного зрения.

Рисунок 1 – Схема устройства головки с коаксильной подачей для установки лазерной наплавки с диодным лазером

Как правило, технологические головки для лазерной наплавки существуют в двух различных конфигурациях, которые сами по себе отличаются проволочным и порошковым наполнителем. В то же время обе системы могут быть спроектированы с внеосевой или коаксиальной подачей материала.

Лазерное осаждение металла для чистой наплавки обычно настраивается на максимальную скорость осаждения. Поэтому в зону лазерной обработки вне оси добавляется большое количество проволоки или порошкового наполнителя. Для сложных задач с более высокой точностью требуется установка коаксиального порошкового или проволочного сопла.

Одним из главных преимуществ лазерной наплавки для аддитивного производства является габаритный размер. Некоторые камеры сборки могут иметь размер рабочей области в несколько кубических метров.

Благодаря усовершенствованному мониторингу процессов и контурам управления с обратной связью можно изготавливать и ремонтировать даже крупные объекты с большей длительностью печати и, в конечном счёте, с учётом требований безопасности.

Технологические параметры лазерной наплавки продолжают оставаться предметом исследований. Значения параметров сильно зависят от материала, подложки и геометрии наплавляемых объектов. Одним из наиболее важных наборов параметров является мощность лазера P (Вт) и скорость подачи f (м/с). Их соотношение описывается как линейная энергия: E = P/f (Дж/м). Оно определяет расход энергии и, следовательно, размер ванны для расплава. Кроме того, количество порошка, добавляемого в технологическую зону, в основном влияет на результирующую скорость осаждения и температуру зоны расплава. Скорость подачи обрабатывающей головки влияет на время процесса и общую объёмную подачу тепла в зависимости от размера зоны термического влияния металлов. Ещё одним важным фактором является используемый материал и присущие ему свойства. К ним относятся температура плавления, свариваемость, поверхностное натяжение жидкой фазы, теплопроводность и отражательная способность/поглощение лазерного света.

Кроме того, различные параметры могут стать значимыми в конкретных обстоятельствах. В ситуациях, когда рассеивание тепла ограничено, например, из-за высокой сложности геометрической формы детали, тип и расход защитного газа могут стать критическими. Большое количество параметров является проблемой для разработки процесса. В качестве примера в таблице 1 приведены параметры для порошка системы Fe-Ni при его лазерной наплавке.

Таблица 1 – Параметры лазерной наплавки для порошка Fe-Ni.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Мощность лазера | Диаметр лазерного пятна | Качество лазерного луча | Скорость подачи | Дистанция между двумя точками луча лазера  |
| 272 Вт | 0,84 мм | 115 | 180 мм/мин | 0,6 мм |
| Цилиндр |
| Высота слоя | Расстояние до объекта | Массовый расход порошка | Поток газа-носителя | Средний размер зерна |
| 0,1 мм | 9 мм | 2,2 г/мин | 5000 см3/мин | 60 мкм |

# МЕТОДЫ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

Существуют два метода лазерной наплавки:

1. Двухэтапное наплавление (лазерная наплавка с предварительным нанесением порошка на подложку);
2. Одноэтапное наплавление.

В двухэтапном процессе первая стадия состоит из слоя материала покрытия, который помещается перед лазерным облучением. Затем он плавится с материалом подложки лазерным лучом на втором этапе (рис. 2.1а).



Рисунок 2.1 – Схемы методов лазерной наплавки: а) лазерная наплавка с предварительным нанесением порошка на подложку; б) лазерная наплавка с использованием пасты; в) лазерная наплавка с использованием порошка; г) лазерное наплавка с использованием проволоки

В одноэтапном наплавлении в зону расплава подаётся аддитивный материал, который может поставляться в следующих формах:

- в форме порошка;

- в форме проволоки;

- в форме пасты.

Наплавка с распылением порошка является более надёжным методом, чем наплавка с использованием проволоки и пасты, поскольку отсутствует прямой контакт с зоной расплава, а лазерный луч может проходить через поток частиц порошка, а не мешать проволоке или пасте [2].

# ДВУХЭТАПНОЕ НАПЛАВЛЕНИЕ

Лазерная наплавка с предварительным нанесением порошка на подложку – это простейший метод нанесения покрытий и прототипирования. Однако этот метод имеет определённые трудности. Предварительно нанесённые частицы порошка на подложке должны иметь не только достаточное сцепление с подложкой, но также достаточное сцепление друг с другом. Это необходимо для предотвращения удаления частиц порошка на подложке из-за потока газа во время плавления на втором этапе процесса. Чтобы решить эту проблему, порошок обычно смешивают с связующим веществом, чтобы обеспечить его сцепление с подложкой во время процесса. Побочным эффектом связующего вещества является пористость оболочки из-за её испарения во время процесса.

На втором этапе процесса происходят следующие явления:

1. Создание зоны расплава на верхней поверхности предварительно нанесённого порошка за счёт излучения лазерного луча;
2. Расширение зоны расплава к поверхности раздела с подложкой за счёт теплопроводности материала;
3. Проникновение тепла в основание, вызывающее соединение плавлением.

Контроль процесса нагревания является очень важной операцией в этом методе, чтобы предотвратить сильное разбавление. Под разбавлением понимается процент смешивания подложки с областью покрытия. Эта проблема является одним из важных недостатков двухэтапной ​​лазерной наплавки, которая обычно ограничивает процесс только одноэтапным наплавлением [2].

# ОДНОЭТАПНОЕ НАПЛАВЛЕНИЕ

Как показано на рис. 2.1б-г, одноэтапное наплавление можно разделить на три метода: распыление порошка, с подачей проволоки и лазерная наплавка с использованием пасты. Общей чертой всех трёх методов является подача наплавляемого материала в зону расплава под действием лазерного луча.

# НАПЛАВЛЕНИЕ С РАСПЫЛЕНИЕМ ПОРОШКА

При лазерной наплавке путём впрыска порошка частицы порошка подают в зону нагрева для получения слоя плакирования, как показано на рис. 2.1в.

Лазерный луч достигает подложки, и значительная часть его энергии непосредственно поглощается подложкой. Небольшая часть энергии лазера поглощается частицами порошка. Энергия, поглощённая подложкой, затем образует зону расплава. Одновременно расплавленные частицы попадают в зону расплава (рис. 2.2).

Градиент поверхностного натяжения управляет потоком жидкости в зоне расплава. По мере того, как поле потока проникает в подложку, механизм передачи энергии меняется на механизм конвекции массы. Во время этого явления частицы расплавленного порошка быстро перемешиваются в зоне расплава [2].

Рисунок 2.2 – Модель взаимодействия частиц порошка с подложкой

# НАПЛАВЛЕНИЕ С ПОДАЧЕЙ ПРОВОЛОКИ

При лазерной наплавке с подачей проволоки основная идея заключается в использовании проволоки вместо порошка, как показано на рис. 2.1г. Проволока обычно пропускается через керамический барабан, содержащий проволоку из необходимого материала. Из-за характера механизмов подачи, важно использовать проволоку, которая была выпрямлена и хранилась без подвергания пластической деформации, чтобы обеспечить стабильную подачу без вибрации. Было установлено, что по сравнению с лазерной наплавкой посредством распыления порошка, лазерная наплавка посредством подачи проволоки имеет некоторые особые преимущества. Одно из важнейших преимуществ – адаптация к положению покрытия.

Металлическая проволока дешевле металлических порошков, а также при подаче проволоки расходуется меньше материала, чем при подаче порошка. Однако низкое качество поверхности, низкая прочность соединения, пористость, трещины и капельный перенос – недостатки данного метода, связанные с наплавлением проволоки. Расплавленная жидкость на конце проволоки не течёт плавно и непрерывно на заготовку, что называется явлением капельного переноса. Выбрав правильное направление и положение подачи проволоки, можно решить проблему разбрызгивания капли расплава при лазерной наплавке с подачей проволоки. В этом случае проволоку можно погрузить в зону расплава и расплавить теплом расплавленного металла. Тем не менее, успешность процесса сильно зависит от параметров процесса, а при наличии нарушений качество наплавки резко снижается [2].

# НАПЛАВЛЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАСТЫ

При лазерной наплавке с использованием пасты поток связанного пастой материала наносится на точку подложки, которая обычно немного опережает лазерный луч, как показано на рисунке 2.1б. Паста состоит из упрочняющего порошка с подходящим связующим веществом. Тем не менее, связующее вещество должно быть высушено за короткий промежуток времени при сохранении упрочняющего материала в компактном виде; в противном случае частицы порошка уносятся защитным газом.

На данный момент исследователи и инженеры разработали и внедрили систему подачи пасты вместе с системой охлаждения для защиты пасты от теплового излучения из технологической зоны. Форма пасты на подложке контролируется скоростью подачи пасты и скоростью подложки. Чтобы добиться хорошего качества покрытия, необходимо оптимизировать эти параметры. Плохая подача пасты или слишком высокая скорость обработки приводят к сильному разбавлению и низкой высоте дорожек, если энергия лазера остаётся постоянной. Избыток пасты на подложке увеличивает образование пор, так как испарение связующего вещества замедляется и это увеличивает потери наплавочного материала [2].

Высокая пористость, высокая чувствительность процесса к нарушениям при выполнении операции и трудности в механизме подачи пасты – это главные недостатки при лазерной наплавке с использованием пасты.

# МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

С момента начала исследования технологии лазерной наплавки было изучено большое количество материалов на предмет возможности их лазерной наплавки. На данный момент доподлинно известно о возможности лазерной наплавки с использованием всех основных классов металлических сплавов, а также керамики, стёкол и интерметаллидов. Системы сплавов, которые успешно подвергались наплавлению лазером, включают сплавы на основе Ni, Co, Nb, Ti, Al и Cu, а также полный спектр сталей, включая инструментальные и нержавеющие стали [3].

По своей природе основной целью лазерной наплавки является создание высокопроизводительной поверхности с улучшенными свойствами, включая износостойкость, коррозионную стойкость и/или стойкость к окислению [4]. Традиционно материалы с такими высокими эксплуатационными характеристиками являются высокотемпературными материалами, которые являются дорогостоящими и весьма трудными для их механической обработки. Поэтому создание покрытия из этих материалов на менее дорогостоящих, но легко обрабатываемых материалах основы – это основное направления для активного применения и развития технологии лазерной наплавки.

Основным требованием к материалам для лазерной наплавки является форма материала. Необходимое условие – форма наплавляемого материала в виде порошка или проволоки, в зависимости от используемой техники. Одним из преимуществ материалов на основе порошка является то, что состав материала может быть легко изменён: сплавы несовместимых материалов, таких как металлы и керамика могут быть получены даже на стадии подготовки оборудования для наплавки, а не заблаговременно. Кроме того, благодаря точному контролю массового расхода порошка могут быть изготовлены детали с высокими требованиями к точности массы и размеров. В отличие от этого, процессы лазерной наплавки на основе проволоки используются для более грубых конструкций. Это более экономичный процесс, так как теряется меньше материала в отсутствие чрезмерного распыления порошка. Как правило, металлическая проволока доступна по более низкой цене, но с её фиксированным металлургическим составом изменения добавок могут быть сделаны только путём покрытия поверхности проволоки.

Свойства порошка, такие как размер и распределение частиц в сочетании с их морфологией, определяют текучесть порошка из-за возможного сцепления отдельных зёрен. По сравнению с процессами в порошковом слое, лазерная наплавка менее чувствительна к изменениям этих свойств и позволяет создавать гетерогенные порошковые композиции.

Стоит отметить, что помимо металлов, лазерному наплавлению подвергались и композиционные материалы, а именно металлокерамические композиции.

Поскольку основное применение лазерной наплавки заключается в создании твёрдой износостойкой поверхности, неудивительно, что металлокерамические композиции стали целью многих исследовательских работ по их лазерному наплавлению. Металлокерамические композитные материалы довольно трудно обрабатывать обычными способами, такими как порошковая металлургия и литьё, особенно когда требуются высокие объёмные доли керамики. Эти композиты также имеют низкую пластичность и вязкость разрушения, что делает их непригодными при крупногабаритном применении. Однако благодаря содержанию керамики они обладают высокой твёрдостью и отличной износостойкостью. Поэтому их использование в лазерной наплавке – идеальное применение.

# МЕТОДЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПОРОШКОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ

В настоящий момент известно множество методов производства широкого спектра металлических порошков, предназначенных для удовлетворения требований большого количества областей применения. Можно производить порошки практически всех металлов. Различные процессы производства порошков позволяют точно контролировать химический состав и физические характеристики порошков. Постоянно ведутся разработки и технические инновации в процессах производства металлического порошка, чтобы обеспечить качество, стоимость и требования к производительности существующих и новых методов [5].

Металлические порошки получают механическими или химическими методами. Обычно используемые методы включают распыление воды и газа, измельчение, механическое сплавление, электролиз и химические методы, включая восстановление оксидов.

Подходящие методы производства порошка зависят от требуемой производительности, свойств порошка, а также физических и химических свойств материала. Химические и электролитические методы используются преимущественно для получения порошков высокой чистоты. Механическое измельчение является наиболее широко используемым методом получения порошка для твёрдых металлов и оксидов. Вторичное измельчение восстановленных оксидом, распылённых или электролитических порошков также является очень распространённой и экономически оправданной практикой. Тем не менее, механическое измельчение металлического порошка имеет относительно ограниченное применение из-за пластичности большинства металлов.

Распыление, возможно, является наиболее универсальным методом, позволяющим получать металлические порошки в широком диапазоне производственных мощностей (от 1 до 10,5 тонн в год) и с широким диапазоном размеров частиц порошка от 10 до 1000 мкм. Тем не менее, все большее число применений металлических порошков требует субмикронных размеров порошка, получаемых химическими или физическими средствами. Ультрадисперсные (т. е. субмикронные) порошки не могут быть эффективно получены путём измельчения или обычного распыления (газом и/или жидкостью).

Как уже было указано ранее, для получения порошков высокой чистоты, которые используются при лазерной наплавке, применяют химические и электролитические методы, а также распыление [6].

# РАСПЫЛЕНИЕ

Распыление (атомизация) является доминирующим методом получения металлических и предварительно легированных порошков из алюминия, латуни, железа, низколегированных сталей, нержавеющих сталей, инструментальных сталей, жаропрочных, титановых и других сплавов. Распыление стало доминирующим способом производства порошков, поскольку высокие темпы производства способствуют экономии на масштабе, а также потому, что предварительно легированные порошки могут быть получены только путём распыления.

Распыление (атомизация) – в простейшем понимании – распад жидкости на мелкие капли. Любой материал, доступный в жидкой форме, может быть распылён. В случае тугоплавких материалов в результате образуются замороженные капли, то есть порошок. Как правило, размер распыляемых частиц меньше 150 микрометров, хотя могут быть получены частицы большего размера (в этом случае распыление называется "дробью" или "грануляцией"). Атомизация также является синонимом термина пульверизация, который применим в контексте распыления аэрозолей в химической/фармацевтической промышленности.

Основные характеристики, которые определяют процесс распыления: размер частицы, форма частицы, чистота порошка, пористость.

Общие типы процессов распыления охватывают ряд промышленных и исследовательских методов. Промышленные методы включают (рис. 4):

Рисунок 3 – Виды распыления

Распыление двух жидкостей, при котором жидкий металл разбивается на капли под воздействием струй газа, воды или масла высокого давления;

Центробежное распыление, при котором поток жидкости диспергируется в капли под действием центробежной силы вращающегося диска, чашки или электрода;

Распыление в вакууме или растворимом газе, когда расплавленный металл перенасыщен газом, который вызывает распыление металла в вакууме;

Ультразвуковое распыление, при котором плёнка жидкого металла размельчается и распыляется ультразвуковой вибрацией.

Распыление водой, газом, растворимым газом, центробежное и ультразвуковое используется в промышленном производстве, но методы распыления двух жидкостей с использованием газа (включая воздух) или воды обеспечивают более 95 % получаемых методом распыления порошков во всем мире.

# ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Химические и физико-химические методы получения металлического порошка допускают большие различия в свойствах порошка. Широкий спектр технологических и производственных параметров позволяет тщательно контролировать размер и форму частиц. Порошки, полученные восстановлением оксидов, осаждением из раствора или из газа, термическим разложением, химическим охрупчиванием, разложением гидридов и термитными реакциями, относятся к этой классификации. Наиболее широко используемые процессы в этой категории включают восстановление оксидов, осаждение из раствора и термическое разложение [7].

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКСИДОВ

Восстановление оксидов металлов – процесс отнятия кислорода от оксида соответствующего металла с целью получения из него чистого металла или оксида, но с меньшим содержанием кислорода. В большинстве случаев технология восстановления предполагает высокую температуру реакции, близкую к температуре плавления металла.

Процессы восстановления твёрдых оксидов металлов, как правило, классифицируются в зависимости от типа восстановителя. Взаимодействие оксида металла с газообразным восстановителем принято называть реакцией косвенного восстановления, а с твёрдым углеродом – реакцией прямого восстановления.

Производство порошков железа, меди, вольфрама и молибдена восстановлением из их соответствующих оксидов является хорошо зарекомендовавшим себя коммерческим процессом. В меньшем масштабе способ также используется для производства порошков кобальта и никеля.

Порошки железа и меди, полученные методом восстановления оксидов, могут конкурировать с порошками, полученными другими способами. Восстановленным порошкам характерно наличие пор внутри каждой частицы порошка, поэтому такие порошки называются губчатыми. Эта губчатость контролируется количеством и размером пор и обусловливает хорошую совместимость и спекаемость таких порошков.

# ОСАЖДЕНИЕ ИЗ РАСТВОРА

Производство металлических порошков методом гидрометаллургической переработки основано на выщелачивании руды или рудного концентрата с последующим осаждением металла из выщелачивающего раствора. Осаждение металла из раствора может быть достигнуто непосредственно электролизом, цементацией или химическим восстановлением. Косвенное осаждение может быть достигнуто путём первого осаждения соединения металла (гидроксида, такого как карбонат или оксалат, например), с последующим нагреванием, разложением и восстановлением.

Наиболее широко используемыми коммерческими процессами, основанными на гидрометаллургии, являются цементация меди и отделение, и осаждение меди, никеля и кобальта из солевых растворов путём восстановления водородом.

В своей простейшей форме цементация меди – процесс извлечения меди из кислых растворов для выщелачивания в виде осадка нечистого порошка. Из-за наличия значительного количества железа и силикатов, низкой кажущейся плотности и высокой прочности в чистом виде такие порошки меди находят применение в компонентах композитов, работающих на трение. Они не используются в обычных конструктивных деталях.

Порошки никеля в настоящее время производятся в больших количествах непосредственно из их руд путём осаждения. Порошок имеет чистоту не менее 99,8 %, при этом основными примесями являются кобальт, железо и сера из-за их присутствия в исходной никелевой руде. Порошок может быть получен в различных распределениях по размерам и является достаточно однородным.

# ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ

Из группы термически разлагаемых порошков наиболее важными являются порошки, полученные термическим разложением карбонилов. Как железо, так и никель образуются в результате разложения соответствующего карбонила.

Карбонилы получают путём пропускания монооксида углерода над губчатым металлом при определенных температурах и давлениях. Пентакарбонил железа, Fe(CO)5, представляет собой жидкость при комнатной температуре, кипящую при 103°C. Тетракарбонил никеля, Ni(CO)4, кипит при 43°C. Когда давление снижается до 1 атм и соответственно повышается температура, оба этих карбонила разлагаются с образованием металла и монооксида углерода. Последний перерабатывается для образования большего количества карбонила и продолжения процесса. Эти реакции выражаются следующим образом:

Порошок получают путём кипячения карбонилов в нагретых сосудах при атмосферном давлении в условиях, которые позволяют парам разлагаться в нагретом пространстве, а не по бокам контейнера. Порошок собирается, просеивается и может быть измельчён с последующим отжигом в водороде. Чистота порошков может быть очень высокой (более 99,5 %), при этом основными примесями являются углерод, азот и кислород. Размер частиц можно очень тщательно контролировать. Порошок карбонила железа обычно имеет сферическую форму и очень мелкий размер частиц (менее 10 мкм), в то время как порошок никеля обычно имеет довольно неправильную форму, является пористым и мелкодисперсным.

# ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ И ТЕХНОЛОГИИ В СФЕРЕ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

Технология лазерной наплавки – относительно новое направление в аддитивных технологиях. Однако наука не стоит на месте, отчего на данный момент существует весомое количество разработок, цель которых – усовершенствовать данную область науки для получения более качественных и в большем количестве необходимых результатов.

В сфере лазерной наплавки новейшие разработки обильно патентуются с целью как зарегистрировать изобретение для его дальнейшей успешной коммерческой реализации, так и с целью распространить известие о данной разработке на международном уровне.

Главные направления в исследовании процесса лазерной наплавки – поиск новейших материалов, разработка усовершенствованного оборудования как для наплавления, так и для получения материалов.

# НОВЕЙШИЕ ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

* Патент RU2542922C2

В данном патенте [8] предлагается изобретение, направленное на обеспечение равномерного распределения твёрдых включений по объёму покрытия за счёт синтеза TiC, что в итоге позволяет улучшить качество покрытия, а именно увеличить его твёрдость и износостойкость (отсутствие пор и трещин).

Данный результат достигается посредством того, что порошковая композиционная смесь для лазерной наплавки на металлическую подложку включает порошки из Ti и SiC в следующем соотношении компонентов, масс.ч.:

- Ti – 5-7;

- SiC – 3-6;

- Размер частиц порошка 20-100 мкм;

- Для достижения наилучшего результата частицы Ti должны быть сферическими.

В качестве подложки могут быть использованы изделия из сплавов, например титановых, магниевых, алюминиевых, бронз, латуней, также нержавеющей, углеродистой или низкоуглеродистой стали.

В процессе осуществления лазерной наплавки готовят порошковую композиционную смесь из указанных ранее элементов и их соотношений. Далее выполняют лазерную наплавку из заявленной смеси с протеканием реакции и образованием новых фаз. Режимы лазерной наплавки определяют тип образовавшихся фаз, морфологию, характер распределения в матрице. Параметры наплавки определяются в рабочем режиме таким образом, чтобы обеспечивалось расплавление всего подаваемого порошка Ti и SiC при минимальном воздействии на подложку.

В данном случае наиболее важна реакция образования TiC, который является армирующей фазой. В большинстве случаев армирующая фаза непосредственно добавляется в покрытие. Использование заявленной смеси позволяет получить TiC в результате синтеза при лазерном переплавлении порошков Ti и SiC. В процессе синтеза TiC выделяется в виде дендритов, равномерно распределённых по покрытию.

При уменьшении частиц порошка менее 20 мкм снижается его подвижность, кроме того, транспортировка порошка становится проблематичной. Использование же порошка с размером частиц более 100 мкм не позволяет в достаточной мере фокусировать поток и приводит к потерям материала.

Таким образом, заявленная порошковая композиционная смесь, подаваемая в область действия лазерного луча, позволяет получать высококачественные (твёрдые и износостойкие с равномерно распределённым по объёму покрытия TiC) покрытия на металлической подложке.

* Патент RU2601839C2

Задача, на решение которой направлено заявленное изобретение [9], заключается в повышении твёрдости и износостойкости шихты для лазерной наплавки.

Поставленная задача решается за счёт того, что в составе порошкообразной шихты для лазерной наплавки, содержащем дисперсный металлический порошок и армирующий порошок, в качестве металлического порошка используют порошок на никелевой основе с размером частиц 40-150 мкм, а в качестве армирующего порошка используют нанопорошок карбида тантала в количестве 10-40% от объёма.

Выбор диапазона размеров частиц порошка на никелевой основе основан на экспериментальных данных, полученных при лазерной наплавке, и проведённых испытаниях на абразивное изнашивание по схеме Бринелля-Хаворта.

Эксперименты показали, что наплавка шихты на основе никеля по сравнению со сталью повышает износостойкость при выбранных режимах лазерной наплавки. В то же время, введение нанопорошка карбида тантала в пределах 10 до 40% от объёма шихты позволяет значительно повысить износостойкость наплавленных слоёв. При увеличении содержания нанопорошка карбида тантала более 40% появляются микротрещины в наплавленных слоях.

Использованный метод лазерной наплавки основан на расплавлении порошкового материала под воздействием лазерного излучения, при этом погонные мощности этого процесса ниже, чем при дуговых и плазменных методах, и, соответственно, тепловое воздействие на подложку минимально. Это позволяет при использовании наночастиц карбида тантала улучшить поверхностные свойства покрытия, а именно его износостойкость и твёрдость.

Дуговые и плазменные методы наплавки не обеспечивают требуемых свойств покрытия, т.к. при их использовании образовываются вторичные карбидные фазы, приводящие к образованию трещин в покрытии.

* Патент RU2751033C1

Изобретение [10], описанное в данном патенте, относится к области космического материаловедения, а именно, к защитным терморегулирующим покрытия, наносимым на наружную поверхность космических аппаратов для поддержания в них заданного теплового режима, составам для их получения и способам нанесения.

Защитные покрытия с терморегулирующими свойствами поддерживают внутри космического аппарата заданную температуру, обеспечивая защиту его бортовой аппаратуры и другого внутреннего оборудования от губительных для них термоперепадов, а также от накопления электростатических зарядов и повреждающего воздействия других факторов космического пространства.

Задача изобретения заключается в создании на Ti и его сплавах терморегулирующего покрытия с высокими прочностными и защитными свойствами, сохраняющимися в течение всего срока его активной службы, при этом практически сразу после нанесения готового к эксплуатации.

Техническим результатом изобретения является обеспечение заявленных свойств и их сохранение в течение всего срока активной службы покрытия за счёт повышения прочности адгезионного сцепления покрытия с титановой основой.

Данный результат достигается покрытием, полученным с помощью состава, включающего неорганический пигмент и силикатное связующее, при этом, в отличие от уже эксплуатируемых покрытий, в качестве неорганического пигмента покрытие содержит псевдоволластонит моноклинной модификации, полученный путём термообработки синтетического CaSiO3 при температуре 1200-1250°C в течение 4-5 часов, в качестве силикатного связующего – PbSiO3, порошкообразную смесь которых при мольном соотношении 1:2 наносят на подложку из Ti либо его сплава с пористым слоем двухуровневой структурой на поверхности, нагревают подложку с нанесённым составом до температуры 780-820°C и выдерживают при достигнутой температуре в течение 50-70 мин для обеспечения плавления связующего компонента – PbSiO3.

Дальнейшее формирование покрытия осуществляют путём лазерного наплавления TiC с последующим селективным травлением полученной наплавки кипящей азотной кислотой в течение 30-40 мин (при комнатной температуре кислоты травление проводят в течение 3-4 часов).

Указанный двухуровневый пористый слой формируют путём лазерного наплавления на титановую подложку порошка TiC (фракции 80-100 мкм). Режим лазерной обработки выбирают и регулируют таким образом, чтобы после селективного травления с растворением фазы TiC и её полного удаления остаётся пористый поверхностный слой не подвергшегося растворению титана.

Расплавленный в ходе ТО PbSiO3 проникает внутрь пор, полностью заполняет их и после остывания обеспечивает прочное механическое сцепление покрытия с подложкой (адгезия повышается в 8-10 раз).

Сформированное покрытие, поверхность которого после остывания представляет собой гладкую стеклоподобную плёнку, содержит связующую силикатную матрицу с закреплёнными в ней кристаллами псевдоволластонита игольчатой формы. Игольчатые кристаллы псевдоволластонита обеспечивают низкий коэффициент поглощения солнечного излучения и антирадиационные свойства сформированного покрытия, при этом они одновременно выполняют армирующую функцию, упрочняя полученное покрытие. Состав, форма и размеры синтезированных игольчатых кристаллов псевдоволластонита в ходе формирования покрытия не изменяются.

* Патент RU2752403C1

В данном патенте [11] предлагается усовершенствование уже известного способа упрочнения деталей, заключающегося в формировании на поверхности стальных изделий сверхтвёрдого износостойкого покрытия, включающий нанесение порошковой обмазки и последующее короткоимпульсное лазерное оплавление. Предлагается использование в качестве вносимой порошковой композиции материалы системы Fe-Ni-Cr-Si и микролегирование B, Nb и Cu с дисперсностью порошковой композиции 60-100 мкм, лазерную наплавку проводить в контролируемой газовой среде Ar с N со скоростью 6,5-7 м/мин и мощностью лазера в диапазоне 1,8-2 кВт.

Подобный состав порошковой композиции обеспечивает формирование дисперсных высокотвёрдых фаз, состоящих из элементов основного материала Cr23C6; Cr7C3; Me23(C, B)6; CrB; (Cr, Fe)7C3, что является фактором дополнительного увеличения износостойкости и коррозионной стойкости наплавленных покрытий.

Фракция 60-100 мкм является оптимальной, так как с увеличением размера наплавляемой фракции от 100 до 120 мкм высота единичного слоя увеличивается в 1,5-2 раза, что сопровождается преобладанием количества образующейся хрупкой эвтектики в наплавляемой области. Использование более мелкой фракции менее 60 мкм приводит к выгоранию порошкового материала и образованию окалины на поверхности наплавки. Скорость в пределах 6,5-7 м/мин позволяет получить беспористый единичный наплавленный слой высотой 0,7-1 мм.

При мощности лазера более 2 кВт формируется более грубая литая структура из-за увеличения скорости охлаждения, что требует последующей смягчающей термической обработки. При снижении мощности лазера менее 1,8 кВт в наплавленном слое фиксируются неусвоенные твёрдые частицы порошковой композиции, выкрашивающиеся при последующей механической обработке (шлифовка и полировка).

Рабочую поверхность предварительно подвергали токарной обработке, обеспечивая шероховатость в пределах 3,2 Ra. Наплавку осуществляли иттербиевым волоконным лазером непрерывного действия в 2-3 прохода (в зависимости от глубины изношенной поверхности) при мощности излучения 1,8 - 2 кВт, линейной скорости вращения заготовки 8,28 мм/с, скорости подачи порошка 20 г/мин, при диаметре лазерного пятна 3,5 мм. Порошковая смесь транспортировалась в зону наплавки защитным газом, представляющим смесь Ar и N2 (аргона и азота), при расходе газовой смеси 6 л/мин. Наплавку производили до достижения толщины покрытия 2,0 - 2,5 мм, после чего подвергали токарной обработке и шлифованию на станке с интенсивным охлаждением.

Для предлагаемого способа характерно формирование качественной поверхности без наличия пор, трещин, очагов адгезионного схватывания и отслоении. Заявляемый способ обеспечивает формирование смешанной металлической основы покрытия, состоящей из γ-твёрдого раствора на основе Ni и Fe с равномерным распределением сложных карбоборидов переменного состава, в которых часть атомов Fe заменена более устойчивыми элементами Cr, B, Mo, что обеспечивает повышение твёрдости поверхностного слоя покрытия системы Fe-Ni-Cr-Si до уровня ≥1400HV при одновременном обеспечении высокого качества восстанавливаемой поверхности.

Заявляемым способом можно получить покрытия на новых и восстанавливаемых деталях из сплавов на основе Fe и Ni, используемых в условиях интенсивного изнашивания, в том числе в агрессивных средах.

* Патент RU2709550C1

Технический результат, достигаемый заявляемым изобретением [12] – повышение твёрдости поверхностного слоя покрытия системы Ni-Cr-B-Si до уровня ≥1000HV и формирование в слое благоприятных сжимающих (отрицательных) остаточных напряжений высокого уровня (>400 МПа), при одновременном получении высокого качества обработанной поверхности.

Результат достигается за счёт того, что в способе получения упрочнённого никельхромборкремниевого покрытия на металлических деталях, включающем нанесение самофлюсующегося порошка системы Ni-Cr-B-Si газопорошковой лазерной наплавкой, подготовку наплавленной поверхности и фрикционную обработку полусферическим индентором из кубического нитрида бора, согласно изобретению, в качестве порошка при наплавке используют порошок марки ПГ-СР4, и фрикционную обработку проводят при нагрузках 500-700 Н.

Использование порошка ПГ-СР4 с повышенным содержанием C, Cr и B обеспечивает получение покрытия при лазерной наплавке с твёрдостью не менее 870 HV за счёт формирования твёрдых упрочняющих фаз (Cr7C3, CrB) и увеличения их объёмной доли в структуре наплавленного покрытия. Это позволяет при проведении фрикционной обработки увеличить нагрузку на индентор до 500-700 Н без развития на поверхности покрытия нежелательных процессов адгезионного схватывания, приводящих к снижению качества обрабатываемой поверхности и разрушению упрочнённого поверхностного слоя. Проведение фрикционной обработки при нагрузках 500-700 Н способствует накоплению в поверхностном слое более значительных пластических деформаций и, соответственно, достижению более высокого уровня деформационного упрочнения (с твёрдостью не менее 1000 HV), а также формированию в поверхностном слое высоких благоприятных сжимающих остаточных напряжений σ=-(415-1140) МПа.

При этом достижение высокого качества поверхности (низкая шероховатость поверхности, отсутствие очагов адгезионного схватывания и микротрещин) покрытия, подвергнутого финишной фрикционной обработке, обеспечивается за счёт эффективного сглаживания микронеровностей поверхности покрытия, исключения развития на ней процессов адгезионного схватывания и малоцикловой фрикционной усталости.

Новый технический результат, обеспечиваемый заявляемым изобретением, заключается в повышении твёрдости поверхностного слоя ≥1000HV и формировании в нём благоприятных сжимающих (отрицательных) остаточных напряжений за счёт создания на поверхности сильнодеформированного слоя с дисперсной структурой и полностью деформационно растворёнными в твёрдом растворе NiB и CrC при одновременном достижении высокого качества поверхности покрытия (низкая шероховатость поверхности, отсутствие очагов адгезионного схватывания и микротрещин), подвергнутого финишной фрикционной обработке.

* Патент RU2478028C2

В настоящее время известны различные способы наплавки для защиты стальных поверхностей от коррозии и эрозии. К ним относятся термические, химико-термические, механические и другие упрочняющие технологии.

Задачей предлагаемого изобретения [13] является снижение потерь присадочного порошка и повышение качества наплавляемого слоя за счёт увеличения равномерности его толщины благодаря тому, что валики наносят параллельно продольной кромке уголкового изделия до вертикальной ограничивающей стороны. Данный способ решает задачу равномерного нанесения валиков, что, безусловно, повышает качество наплавляемого слоя. Однако основная задача заключается в повышении качества наплавляемого металла за счёт сплавления с основным металлом изделия и обеспечить повышение эрозионной стойкости металла детали в условиях кавитационной эрозии.

Цель достигается тем, что способ наплавки коррозионно-эрозионного порошка осуществляется с наплавления присадочного материала на стальную поверхность детали, включающего создание на поверхности зоны нагрева непрерывным лазерным лучом и подачу в неё коррозионно-эрозионностойкого самофлюсующегося присадочного порошкового материала с обеспечением его расплавления и смешивания с подплавленным основным металлом изделия. Отличие от известных методов в том, что перед подачей присадочного порошкового материала его предварительно просеивают и прокаливают, а наплавку производят при перемещении лазерного луча с постоянной скоростью и неизменным положением фокуса линзы относительно наплавляемой поверхности.

Особенности структуры лазерной наплавки заключаются в дисперсном упрочнении, растворении хрупких карбидных фаз и образовании пересыщенных твёрдых растворов, что обеспечивает высокие эксплуатационные свойства наплавленного слоя.

Особенности структуры лазерной наплавки, заключающиеся в измельчении структуры, фазовых превращений, изменении физико-механических свойств, обеспечивают высокие свойства поверхностных покрытий, в первую очередь эрозионную стойкость и износоустойчивость. Прочность сцепления наплавленного слоя с основой не уступает когезионной прочности основы металла, а при лазерной наплавке в 3-5 раз превышает прочность, чем при напылении покрытия.

* Патент RU2359797C2

В настоящее время в судовом машиностроении находят широкое применение для деталей судовой арматуры алюминиевые бронзы, обладающие высокой коррозионной стойкостью. Однако при больших скоростях истечения морской воды, имеющих место в узлах затвора арматуры, наблюдается коррозионный и эрозионный износ, что приводит к преждевременному выходу из строя судовой арматуры.

Техническим результатом изобретения [14] является разработка способа лазерной наплавки на алюминиевую бронзу медно-никелевых или никелевых материалов с содержанием никеля более 10%, обеспечивающего отсутствие трещин в наплавленном материале и зоне сплавления.

Технический результат достигается за счёт того, что в способе лазерной наплавки медно-никелевых сплавов на детали из алюминиевой бронзы, включающем подачу металлического порошка медно-никелевого сплава и одновременную обработку поверхности детали лучом лазера. Предварительно на поверхности детали создают промежуточный слой глубиной не менее двух диаметров луча лазера, а наплавку медно-никелевого сплава осуществляют с глубиной проплавления промежуточного слоя не более 0,8 его толщины.

Предлагаемый изобретением порошок – порошок Cu-Ni сплава, содержащий в мас.%: 40,2 Ni, 58,8 Cu.

В процессе обработки поверхности лучом лазера происходит образование плазмы, которая способствует испарению легкоплавких элементов, что приводит к снижению содержания Al в 1,5-2 раза. Обеднение поверхностного слоя бронзы Al до 5% повышает его пластические свойства вследствие уменьшения количества интерметаллидов типа Ni-Al. Повышение пластичности поверхностного слоя алюминиевой бронзы после её обработки исключает возможность образования трещин в наплавленном материале и в зоне сплавления.

Технико-экономический эффект от использования предлагаемого изобретения выразится по сравнению с прототипом в увеличении надёжности и срока службы деталей узла запорной арматуры из алюминиевых бронз с лазерной наплавкой коррозионно-стойких покрытий, а также возможности восстановления подвергнутых коррозионному и эрозионному разрушению деталей в труднодоступных местах.

* Патент US20110223351

Целью изобретения [15] является создание способов лазерной наплавки, при которых прочность соединения превосходит результаты, полученные в данной области техники.

Цели изобретения достигаются путём предоставления способов нанесения покрытия из термопластичного материала на подложку, изготовленную из полимерного материала.

В соответствии с первым аспектом изобретения предложен способ нанесения покрытия из термопластичного материала на подложку, изготовленную из полимерного материала, в котором указанный термопластичный материал и указанный полимерный материал несовместимы, включающий следующие этапы. Во-первых, подложку подвергают воздействию первого плазменного разряда или реактивного газового потока, возникающего в результате этого, для получения подложки, обработанной плазмой. Подложка подвержена данному воздействию, по крайней мере, на её поверхности, причём указанная поверхность образует границу раздела с покрытием. Во-вторых, сканирование лазерного луча вдоль линии на (открытой поверхности) указанной обработанной плазмой подложке осуществляется для нагрева обработанной плазмой подложки. В-третьих, происходит подача порошка указанного термопластичного материала по указанной линии для формирования покрытия на подложке, обработанной плазмой. Этапы изобретения могут выполняться одновременно.

Согласно второму аспекту изобретения, предусмотрен способ нанесения покрытия из термопластичного материала на подложку, изготовленную из полимерного материала, в котором указанный термопластичный материал и указанный полимерный материал несовместимы, включающий следующие этапы. Во-первых, порошок указанного термопластичного материала подвергают воздействию второго плазменного разряда или возникающего в результате этого потока реактивного газа для получения порошка, обработанного плазмой. Во-вторых, происходит обработка лазерным лучом подложки вдоль линии с целью нагрева подложки. В-третьих, осуществляется подача указанного порошка, обработанного плазмой, на указанную линию для формирования покрытия на подложке. Этапы изобретения могут выполняться одновременно.

Первый плазменный разряд выбирают таким образом, чтобы получить химическую группу в поверхностном слое подложки, совместимую с термопластичным материалом порошка. Второй плазменный разряд выбирают таким образом, чтобы получить химическую группу в поверхностном слое термопластичного материала, совместимую с полимерным материалом подложки.

Предпочтительно, первый плазменный разряд формируется плазмообразующим газом, выбранным из группы, состоящей из: воздуха, N2, O2, CO2, H2, N2O, He, Ar и их смесей. Второй плазменный разряд предпочтительно формируется плазмообразующим газом, выбранным из той же группы.

Предпочтительно, на этапе воздействия на подложку и/или на этапе воздействия на порошок, открытая поверхность подвергаемого воздействию материала нагревается, по меньшей мере, до температуры его стеклования, но предпочтительно до температуры его плавления.

Данный усовершенствованный способ лазерной наплавки позволяет увеличить сцепление термопластичного покрытия с полимерным материалом подложки. Способ предназначен для сцепления ранее невозможных к этому материалов.

* Патент US20160375523

Процесс лазерной наплавки препятствует растрескиванию покрытия, когда оно наносится на металлическую основу. Индукционный нагреватель, используемый в данном способе [16], предварительно нагревает металлическую подложку в зоне наплавления порошка. После предварительного подогрева начинается процесс наплавления подаваемого порошка на металлическую подложку. Индукционный нагреватель в данном случае перемещается синхронно с головкой лазерной установки, что позволяет предотвратить неравномерное охлаждение и затвердевание наплавляемого порошка, тем самым устраняя образование трещин.

Уменьшение количества трещин в покрытии повышает защиту металлического изделия от воздействия окружающей среды.

Процесс формирования покрытия на подложке включает индукционный нагрев участка подложки, подлежащего покрытию, с использованием индукционного нагревателя. На поверхность подложки при помощи первой подводящей сырьё трубки наносят материал-основу покрытия в виде сплава, включающего, по меньшей мере, 65% по весу и 80% по объёму основного элемента – Cu. Далее на место наплавки направляют лазерный луч для образования зоны расплава, которая была предварительно подогрета. После через вторую подводящую сырьё трубку идёт окончательное введение в зону расплава под действием лазерного луча твёрдых частиц, по меньшей мере, около 20% по объёму.

Данное изобретение предполагает использование в качестве наплавляемого материала твёрдых частиц карбида, керамики и/или интерметаллидов. Покрытие может включать твёрдые частицы карбида, либо входящие в состав материала-основы покрытия, либо быть связанными с ним. Такая кристаллическая решётка сплава имеет тенденцию обеспечивать износостойкость металлических компонентов. При определённых условиях покрытие также может обеспечивать коррозионную стойкость и/или устойчивость к биологическому обрастанию.

* Патент US20200324373

Целью изобретения [17] является создание аморфного нанокристаллического композитного покрытия для лазерной наплавки на основе железа, а также способы его получения и испытания, в которых в полной мере используется экономическое преимущество сплавов на основе железа, снижаются затраты на подготовку порошков сырья и уменьшается зависимость от вакуумной среды во время процесса наплавления.

Изобретение использует способ регулирования содержания Si в наплавляемом композитном покрытии для достижения эффекта шлакообразующего защитного сплава, который решает проблему, связанную с тем, что наплавляемое композитное покрытие на основе железа подвержено окислению в атмосферной среде.

Полученное аморфное нанокристаллическое лазерное наплавленное композитное покрытие на основе железа обладает высокой прочностью и высокой износостойкостью, а также определенным содержанием аморфности, высокой микротвёрдостью, отличной износостойкостью и выдающейся трещиностойкостью.

Изобретение предполагает образование аморфного нанокристаллического лазерного наплавляемого композитного покрытия на основе железа, в котором состав плакирующего композитного покрытия соответствует молекулярной формуле: (32-44%)Fe(10-15%)Co(10-15%)Ni(18-20%)B(4-23%)Si(4-5%)Nb.

Структура композитного покрытия представляет собой аморфную нанокристаллическую композитную структуру, и максимальная объёмная доля аморфности составляет от 12,4 % до 40,9%, а размер частиц нанокристалла составляет от 17 до 20 нм.

Твёрдость композитного покрытия по микро-Виккерсу составляет от 720 до 1038 HV. износостойкость более чем в 11 раз выше, чем у обычной стали 45, а прочность на разрыв составляет от 2160 до 2880 МПа.

* Патент US20210207251

Данное изобретениеv [18] относится к специальному металлическому порошку на основе Fe для сверхскоростной лазерной наплавки и процессу наплавки с его использованием. Сверхскоростная лазерная наплавка – технология обработки поверхности, в которой используется луч с высокой плотностью энергии для расплавления добавочного материала и поверхности материала подложки, движущегося с высокой скоростью с помощью метода синхронной подачи порошка, и быстрого затвердевания с образованием очень низкой скорости разбавления металлургически связанного наплавленного слоя с подложкой, что значительно увеличивает скорость наплавки и значительно улучшает технологические характеристики поверхности материала подложки, такие как износостойкость, коррозионная стойкость, термостойкость и стойкость к окислению.

Химический состав и массовая доля коррозионностойкого порошка металла для сверхскоростной лазерной наплавки на основе Fe данного изобретения составляют: (0,6-1%)С, (17-20%)Cr, (5-6,5%)Ni, (2-4%)Mn, (1-1,5%)Mo, (4-6%)Ti, (1-1,5%)B, (0,08-0,15%)N, (≤0,5%)Si, (≤0,03%)P, (≤0,03%)S, оставшееся – Fe и неизбежные примеси.

Хотя увеличение Cr может значительно повысить коррозионную стойкость материала, однако слишком большое количество Cr приведёт к сокращению области γ-фазы, что не способствует получению стабильного аустенита. Добавление Ni и Mn может стабилизировать аустенит. Нержавеющая сталь обычно обладает низкой твёрдостью и износостойкостью. Поэтому на основе материалов из нержавеющей стали на основе железа, путём добавления Ti, B и других элементов, образуются твёрдые фазы TiC и TiB2 для упрочнения. Образование Ti и С представляет собой экзотермическую реакцию. До тех пор, пока выделяется меньше энергии, может быть образована жёсткая фаза TiC. Образующиеся частицы TiC мелкие и однородные, поверхность раздела фаз чистая, а комбинация имеет хорошее промышленное применение. По сравнению с другими твёрдыми фазами, такими как WC и VC, твёрдые фазы TiC и TiB2 обладают лучшим эффектом смачивания и менее подвержены микротрещинам. В то же время добавляются другие элементы, чтобы совместно повысить прочность и улучшить структуру, а также получить покрытие с хорошей износостойкостью без трещин, пор и других дефектов.

Поскольку лазерная энергия технологии сверхскоростной лазерной наплавки в первую очередь воздействует на порошок, металлический порошок, используемый в процессе наплавки, оказывает важное влияние на эффект наплавки. Диапазон размеров частиц, текучесть, сферичность и другие параметры напрямую влияют на качество покрытия. Обычно используются следующие показатели:

- Диапазон размеров частиц относится к размеру частиц металлического порошка, обычно характеризуемому диаметром частиц;

- Текучесть выражается в терминах времени, необходимого для прохождения определенного количества порошка через стандартную воронку с заданным отверстием. Единица измерения обычно составляет s/50 г. Чем меньше значение, тем лучше текучесть порошка;

- Сферичность относится к степени, в которой форма частицы похожа на форму сферы;

- D50 – это индекс, описывающий распределение частиц порошка по размерам, который относится к размеру частиц, соответствующему суммарному проценту распределения частиц по размерам образца, достигающему 50%.

Применение вышеупомянутого порошка сплава на основе железа с использованием технологии сверхскоростной лазерной наплавки в сочетании с различными процессами для укрепления и ремонта поверхности подложки, конкретные этапы заключаются в следующем:

- Обработка поверхности подложки;

- Обработка поверхности подложки ацетоном для удаления поверхностной смазки;

Планирование траектории лазерной наплавки в соответствии с геометрией поверхности подложки и формулирование параметров процесса; при этом полупроводниковая система лазерной наплавки используется для наплавки и ремонта поверхности подложки со следующими параметрами процесса: мощность лазера 1500-2500 Вт, диаметр пятна 0,8-1,2 мм, скорость подачи порошка 25 кг/ч, скорость движения лазерного луча 330-830 м/мин, скорость перекрытия 40%-70% и толщина однослойной наплавки 250-500 мкм, головка лазерной наплавки имеет функцию защиты от аргона, а расход газа аргона составляет 820 л/мин;

Использование станков с ЧПУ для обработки отремонтированной поверхности подложки для получения требуемых размеров.

Представленное изобретение имеет следующие преимущества:

1. Металлический порошок имеет оптимальную конфигурацию содержания сплава, которая может образовывать плотное и компактное ремонтное покрытие в сочетании с подложкой в процессе лазерной наплавки, распределение элементов сплава более равномерное, повышается коррозионная стойкость поверхности подложки, снижается скорость коррозии и увеличивается срок службы;
2. Сверхскоростная технология лазерной наплавки позволяет значительно увеличить скорость обработки поверхностей лазерной наплавки и получить покрытие с гладкой поверхностью, без пористости и трещин. Эта технология предъявляет особые требования к размеру частиц металлического порошка, текучести и другим показателям. Порошок нержавеющей стали на основе железа для лазерной наплавки со сверхвысокой скоростью, используемый в настоящем изобретении, подходит для технологии обработки;

По сравнению с традиционной технологией лазерной наплавки, сверхскоростная лазерная наплавка имеет более высокую плотность энергии лазерного луча и лучшую конвергенцию порошка, поэтому высокоскоростная наплавка может быть достигнута при условии скорости движения лазерного луча выше 330 мм/с. В то же время, из-за более высокой скорости движения, степень разбавления сверхскоростной лазерной оболочки составляет менее 2%.

* Патент WO2021216872A1

Целью настоящего изобретения [19] является разработка систем и методов по лазерной наплавке ZrO2, а также улучшение биологического взаимодействия организма с Zr, используя лазерную наплавку SiN.

Настоящее изобретение описывает способ лазерной наплавки поверхности медицинского имплантата. Способ нанесения покрытия на поверхность медицинского имплантата может включать придание необходимой шероховатости поверхности медицинского имплантата, лазерное нанесение покрытия из нитрида кремния на шероховатую поверхность и повторение этапа лазерного нанесения покрытия до тех пор, пока покрытие из нитрида кремния не будет иметь толщину 10 мкм. В некоторых случаях лазерная наплавление может включать направление лазерного луча на шероховатую поверхность медицинского имплантата и предварительное нанесение порошковой смеси или одновременное направление порошковой смеси, содержащей порошок нитрида кремния, на шероховатую поверхность медицинского имплантата. Лазерная наплавка может быть повторена три раза, так что покрытие из нитрида кремния имеет толщину не менее 15 мкм. Этап лазерной наплавки может дополнительно включать подачу постоянного потока газообразного азота.

Химический состав медицинского имплантата может включать цирконий; цирконий, стабилизированный иттрием; оксид алюминия, композиты оксида алюминия/циркония (ZTA), титан, титановые сплавы, нержавеющую сталь и сплавы кобальта с хромом, полиэтилен, полиуретан, полиэфирэфиркетон и/или полиэфиркетонкетон. Покрытие из нитрида кремния может включать от 5 мас.% до 15 мас.% нитрида кремния. В некоторых случаях порошок нитрида кремния может включать α-Si3N4, δ-Si3N4, δ-SiYAlON, SiAlON или SiYON. Порошок нитрида кремния может быть сформирован из измельчённых игольчатых зёрен δ -Si3N4 и фазы на границе зёрен Si Y-O-N. Придание необходимой шероховатости поверхности медицинского имплантата может включать использование свободной абразивной обработки или пескоструйной обработки для образования случайных царапин шириной от 5 до 500 мкм.

Также представлены методы стимулирования остеогенеза. Способ может включать в себя контактирование медицинского имплантата с покрытием из нитрида кремния, наплавленного лазером, с живой тканью человека. В некоторых случаях производство костной ткани на медицинском имплантате увеличивается по сравнению с имплантатом без покрытия из нитрида кремния. Распределение остеокальцина и остеопонтина на медицинском имплантате может быть увеличено по сравнению с имплантатом без покрытия из нитрида кремния. Костная ткань может иметь более высокую степень интеграции кости с медицинским имплантатом по сравнению с имплантатом без покрытия из нитрида кремния. Минерализованная ткань может увеличиваться на медицинском имплантате по сравнению с имплантатом без покрытия из нитрида кремния. На медицинском имплантате может наблюдаться увеличение содержания минерального гидроксиапатита по сравнению с имплантатом без покрытия из нитрида кремния.

* Патент AU2019101478A4

Изобретение [20] относится к способу сверхскоростной лазерной наплавки, в частности к металлическому порошку из нержавеющей стали, используемому в способе. Сверхскоростная лазерная наплавка – это технология обработки поверхности. Благодаря одновременной подаче порошка и способу подачи пучок высокой плотности используется для плавления присадочного материала и поверхности материала подложки, который движется с высокой скоростью одновременно. Наплавляемый слой, который металлургически соединён с подложкой, значительно улучшает скорость наплавления и технологические характеристики поверхности подложки, такие как износостойкость, коррозионная стойкость, термостойкость и стойкость к окислению.

По сравнению с традиционной низкоскоростной, высокоскоростной лазерной наплавкой, сверхскоростные лазерные лучи высокой энергии обладают небольшим количеством энергии, воздействующей на основной материал, образуя неглубокую зону расплава, а большая часть энергии подаётся на порошковый материал, так что порошок попадает в зону расплава. Прежде чем температура поднимется до точки плавления, порошок объединяется с материалом основы в виде капель, так что сверхскоростной процесс лазерной наплавки может повысить эффективность традиционной наплавки в 40 раз.

Соответственно, сверхскоростная лазерная наплавка предъявляет новые требования к порошкам. Например, существуют новые требования к следующим показателям порошка:

- Диапазон размеров частиц, размер частиц металлического порошка, который обычно характеризуется диаметром частиц;

- Текучесть, что означает, что определенное количество порошка должно проходить через стандартную воронку с заданным отверстием. Единица времени обычно составляет s/50g. Чем меньше значение, тем лучше текучесть порошка.

- Сферичность, форма частиц похожа на сферу;

- D50, который описывает средний размер частиц порошка. Индекс относится к размеру частиц, соответствующему совокупному проценту распределения частиц по размерам образца, когда он достигает.

Следует отметить, что нержавеющая сталь настоящего изобретения относится к стали, которая устойчива к коррозии воздухом, паром, водой и т.д. Она имеет высокое содержание легирующих элементов, таких как хром, никель и т.д., обладает отличной коррозионной стойкостью и стойкостью к окислению и предназначена для коррозионностойкой поверхности, модифицированной хорошим материалом покрытия.

Настоящее изобретение предлагает металлический порошок из нержавеющей стали для сверхвысокочастотной лазерной наплавки. Массовая доля каждого элемента составляет: (0,01-0,45%) C, (11,0-20,0%) Cr, (6,0-14,0%) Ni., (0,8-2,0%) Mn, (0,6-1,2%) Si, (<0,030%) P, (0,030%) SG, остальное - Fe и неизбежные примеси; средний диаметр частиц D50 порошка составляет 25-50 мкм, а текучесть составляет 32-45 с/100 г.

По сравнению с предшествующим уровнем техники преимуществами настоящего изобретения являются:

1. Металлический порошок имеет предпочтительное содержание сплава, которое может адаптироваться к сверхвысокой скорости лазерной наплавки. Покрытие может быть плотно соединено с подложкой. Оно обладает отличной коррозионной стойкостью и хорошими экономическими показателями.

2. Сверхскоростная технология лазерной наплавки может значительно повысить скорость обработки поверхности лазерной наплавкой и получить наплавленный слой с гладкой поверхностью, без пористости и трещин. Эта технология предъявляет особые требования к размеру частиц и текучести металлического порошка. Используемый порошок из нержавеющей стали для лазерной наплавки подходит для этой технологии обработки.

# НОВЕЙШЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА

* Патент US20210114104A1

Настоящее изобретение [21] относится к материалам с улучшенными свойствами и, в частности, к производству металлических порошков для различных применений, таких как аддитивное производство для аэрокосмической и медицинской промышленностей.

В вариантах осуществления, описанных в настоящем документе, предоставлено в одном аспекте устройство (рис. 4а) для производства металлических порошков из расплавленного сырья, содержащее:

* источник нагрева для плавления твёрдого сырья в расплавленный исходный материал;
* тигель для содержания расплавленного исходного материала;
* систему доставки для подачи расплавленного исходного материала в виде расплавленного потока;
* плазменный источник, выполненный с возможностью доставки потока плазмы;

при этом поток плазмы выполнен с возможностью ускорения до сверхзвуковой скорости, а также с возможностью столкновения с расплавленным потоком для производства металлических порошков.

Также, в вариантах осуществления, описанных в настоящем документе, предоставлен в другом аспекте способ (рис. 4б) производства металлических порошков из расплавленного сырья, включающий:

* предоставление расплавленного исходного материала;
* доставку расплавленного исходного материала в виде расплавленного потока;
* предоставление потока плазмы;
* ускорение потока плазмы до сверхзвуковой скорости;
* столкновение расплавленного потока со сверхзвуковым плазменным факелом для производства металлических порошков.

Подход, описанный в настоящем документе, предоставляет способы и устройства для производства металлических порошков из источников, отличных от проволоки, таких как жидкое или твёрдое сырье.

Известно, что для того, чтобы иметь реализуемый способ атомизации на плазменной основе, следует использовать проволоку. В настоящем изобретении для атомизации расплавленного потока используют сверхзвуковую плазменную струю; и ниже описаны различные относящиеся к нему варианты осуществления.

Способ плазменной атомизации, в котором используют проволоку, обеспечивает надлежащий контакт металла с плазменной струёй для максимальной передачи тепла и импульса с тем, чтобы расплавить и распылить проволоку за один этап. Однако представляется, что отсутствуют физические причины, по которым энергия, необходимая для непрерывного плавления металла, обязательно должна предоставляться плазменным источником. При атомизациях газом и водой плавление и атомизация представляют собой два отдельных этапа. Такая конфигурация обеспечивает более высокую производительность как следствие того, что скорость плавления не ограничена длительностью теплопередачи и продолжительностью обработки сырья сверхзвуковой струёй.

В настоящем изобретении предоставлен способ атомизации жидкого исходного материала, как и при атомизациях газом и водой, с использованием плазменных струй.

В частности, для доставки потока плазмы, который может быть ускорен до сверхзвуковой скорости перед соударением с расплавленным потоком с высоким импульсом, предусмотрен источник плазмы, такой как одна или несколько плазменных горелок.

Применение данной концепции на практике является более сложным, чем можно предположить из предыдущего заявления, поскольку сверхзвуковые плазменные струи трудно содержать, так как они создают чрезвычайно жёсткие внешние условия для их выдерживания материалами.

Источник потока плазмы может происходить из единственного источника или из комбинации нескольких источников.

Расплавленный поток может быть получен из стержней или слитков, а также из других источников. Конкретная методика (методики), используемая для плавления твёрдого сырья в расплавленный поток и его доставки в зону центральной точки, не имеет значения до тех пор, пока эта методика (методики) обеспечивает должные скорость, давление и температуру.

Другой представляющий интерес аспект настоящего изобретения заключается в том, что, поскольку газ и/или плазма имеет столь высокую температуру на входе сверхзвукового сопла, для достижения скорости Маха требуются намного менее высокие давления. За счёт таких менее высоких давлений значительно снижается стоимость установки и толщина, необходимая для её частей. Для примерных вариантов осуществления, упомянутых выше в настоящем документе, давление на входе 10 атм. является достаточным для питания всей установки, тогда как при атомизации тонкодисперсных частиц газом часто используются давления порядка 40 — 450 атм.

Несмотря на то, что вышеизложенное описание предоставляет примеры вариантов осуществления, следует понимать, что некоторые признаки и/или функции описанных вариантов осуществления поддаются модификации без отступления от сущности и принципов работы описанных вариантов осуществления. Соответственно, все, что было описано выше, было предназначено для пояснения вариантов осуществления, а не ограничения, и специалистам в данной области техники будет понятно, что другие изменения и модификации могут быть выполнены без отступления от объёма вариантов осуществления, как определено в прилагаемой к настоящему документу формуле изобретения.

а) б)

Рисунок 4 – Схема устройств для производства металлических порошков из расплавленного сырья: а) вариант первого аспекта изобретения, б) вариант второго аспекта изобретения

# НОВЕЙШИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

* Патент RU2100479C1

Цель изобретения [22] – повышение производительности процесса газопорошковой лазерной наплавки за счёт повышения коэффициента использования порошка и улучшение качества наплавок за счёт снижения аспектного соотношения размеров валиков.

Цель достигается за счёт того, что газопорошковую струю из одного сопла подают в головную по ходу часть лазерного пятна вслед движению изделия, а газопорошковую струю из другого сопла подают в центральную и хвостовую по ходу части лазерного пятна навстречу движения изделия.

В результате подачи газопорошковой струи из одного сопла в головную по ходу часть лазерного пятна формируется нижняя часть валика, соединяющая его с подложкой. При подаче газопорошковой из другого сопла в центральную и хвостовую части лазерного пятна навстречу движению изделия зона расплава деформируется под давлением этой струи, располагаясь более горизонтально, что приводит к уменьшению высоты и увеличению ширины валиков, т.е. к снижению аспектного соотношения, а также к увеличению размеров поглощающей порошки расплавленной поверхности. Кроме того, взаимодействие двух направленных встречно газопорошковых струй снижает вероятность отражения частиц от поверхности или отклонения их от траектории.

Эти обстоятельства приводят к повышению качества наплавки, повышению коэффициента использования порошка и увеличению производительности процесса.

В предлагаемом способе коэффициент использования порошка на 21,31% выше, а аспектное соотношение, т.е. отношение высоты к ширине валиков, в 1,5-1,7 раз меньше, чем в базовом способе (прототипе).

* Патент RU2660499C2

Задачей настоящего изобретения [23] является создание способа лазерной наплавки, позволяющего повысить качество наплавки, а также коэффициент полезного использования порошка (Кп.и.п.) при перемещении наплавочной головки по любой, в том числе и криволинейной траектории (рис. 5).

Указанный технический результат достигается в заявленном способе газопорошковой лазерной наплавки, при котором на наплавляемую поверхность металлического изделия воздействуют лазерным лучом, в зону наплавки транспортирующим газом подают порошковый материал и осуществляют относительное перемещение луча и изделия по заданной траектории. Кроме того, лазерный луч перемещают перпендикулярно к поверхности металлического изделия, а в зону наплавки подают четыре струи порошка из четырёх независимых сопел, перемещаемых совместно с лазерным лучом и расположенных относительно него всегда осесиметрично. При этом оси симметрии сопел совпадают с осями прямоугольной системы координат поверхности изделия, а подачу порошка в зону наплавки в процессе перемещения лазерного луча осуществляют из каждого сопла по следующим отношениям:



где V1, V­2, V­3, V4 – объём порошка, подаваемого в 1-е, 2-е, 3-е и 4-е сопло, %; φ – угол между нулевым положением вектора мгновенной скорости перемещения луча V0, направление которого совпадает со следующим расположением сопел: первое сопло расположено впереди лазерного луча, и вектором мгновенной скорости перемещения луча Vмгн, вычисляемым из уравнения движения наплавочной головки в определённый момент времени.

Уравнение движения наплавочной головки описывает траекторию движения лазерного луча совместно с подающими порошок соплами относительно обрабатываемого изделия.

Повышение качества наплавки достигается за счёт осесимметричной подачи порошкового материала в зону лазерного излучения (зону наплавки), позволяющей получать равнопрочное бездефектное наплавочное соединение при движении по любой траектории.

Повышение Кп.и.п. достигается за счёт регулировки расхода присадочного материала из каждого сопла по отдельности в зависимости от траектории движения.

Рисунок 5 – Лазерная четырёхсопловая головка

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология лазерного наплавления является сложным и многофакторным процессом с большим количеством параметром, влияющих на конечный результат. Поэтому каждый предлагаемый инновационный метод наплавления и получения по своей сути может быть схожим, однако различие в конкретных параметрах может существенно повлиять на качество получаемого покрытия или материала, а также на количество получаемого и наплавляемого материала. Влияние на технологию процесса оказывает и наплавляемый материал. В представленных патентах в данной работе о применении порошковых материалов отмечено воздействие на формируемое покрытие размеров частиц порошка. Исходя из этого можно сделать вывод, что лазерная наплавка – всеобъемлющий процесс, учитывающий факторы всех его составляющих.

Представленные в работе запатентованные технологии отражают универсальность технологии лазерной наплавки. Она может применяться как в машиностроении – как при ремонте деталей машин и механизмов, так и при их изготовлении – так и в медицине для нанесения покрытий, позволяющих улучшить биологическое взаимодействие имплантата с организмов человека.

Лазерная наплавка – уникальный процесс в аддитивном машиностроении. Получаемые данной технологией изделия обладают высокими свойствами, зависящими, безусловно, от эксплуатационной окружающей среды и от наплавляемого материала. Это могут быть и высокая эрозионная стойкость, коррозионная стойкость, износоустойчивость, высокий показатель твёрдости.

С учётом всего перечисленного можно сделать вывод, что данная технология требует дальнейших исследований для получения уникальных материалов, которые приведут к возникновению новейших изобретений, призванных разрешить множественные проблемы как в науке, так и в повседневной жизни.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cavaliere P. Laser Cladding [Текст]: учебное пособие / P. Cavaliere. – Lecce: Springer, 2021. – 444 с.: ил.;
2. Toyserkani E., Khajepour A., Corbin. S. Laser Cladding [Текст]: учебное пособие / E. Toyserkani, A. Khajepour, S. Corbin. – Florida: CRC Press, 2005. – 263 с.: ил.;
3. Евгенов, А. Г. Применение порошков свариваемых и литейных жаропрочных сплавов производства ФГУП "ВИАМ" для ремонта деталей ГТД лазерной газопорошковой наплавкой / А. Г. Евгенов, С. И. Щербаков, А. М. Рогалев // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2016. – № 4(22). – С. 4;
4. Плазменная обработка порошка жаропрочного никелевого сплава для лазерных аддитивных технологий / Р. В. Салихов, О. В. Кудимов, Р. Р. Назаров, А. Х. Гильмутдинов // Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов, Казань, 08–10 августа 2018 года. – Казань: Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2018. – С. 257-259;
5. Получение нано- и ультрадисперсных порошков металлов, их карбидов, боридов и силицидов электрохимическим способом и возможность их использования для лазерных наплавок твердых сплавов / В. А. Костылев, Л. И. Леонтьев, В. Л. Лисин [и др.] // Актуальные проблемы порошкового материаловедения : Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения академика В.Н. Анциферова, Пермь, 26–28 ноября 2018 года / Под редакцией А.А. Ташкинова. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2018. – С. 451-456;
6. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.;
7. Lee P.W. ASM Handbook. Volume 7. Powder Metal Technologies and Applications [Текст]: учебное пособие / P.W. Lee [и др.]. – ASM International, 1998. – 2762 с.;
8. Пат. 2542922 Российская Федерация, МПК С23С4/10, В23К26/342 - Порошковая композиционная смесь для лазерной наплавки на металлическую подложку [Текст] / Григорьев С.Н., Тарасова Т.В., Попова Е.В., Смуров И.Ю., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО МГТУ «Станкин». - № 2013132862/02; заявл. 16.07.2013; опубл. 27.01.2015 – 5 c.;
9. Пат. 2601839 Российская Федерация, МПК В23К35/36 – Состав порошкообразной шихты для наплавки [Текст] / Бирюков В.П., Гудушаури Э.Г., Петровский В.Н., Татаркин Д.Ю., Мурзаков М.А., Фишков А.А,, Чурляева О.Н., заявитель(-и) и патентообладатель(-и) Бирюков В.П., Гудушаури Э.Г., Петровский В.Н., Татаркин Д.Ю., Мурзаков М.А., Фишков А.А,, Чурляева О.Н. - № 2015104069/02; заявл. 09.02.2015; опубл. 10.11.2016 – 4 с.;
10. Пат. 2751033 Российская Федерация, МПК C09D5/33, C09D5/32, C09D5/26, C09D1/00, C01B33/24, C01B33/20, B64G1/58 – Терморегулирующее покрытие на титане и его сплавах [Текст] / Жевтун И.Г., Гордиенко П.С., Ярусова С.Б., Никитин А.И., заявитель и патентообладатель ФГБУН ИХ ДВО РАН. - № 2020133510; заявл. 12.10.2020; опубл. 07.07.2021 – 11 с.;
11. Пат. 2752403 Российская Федерация, МПК С23С24/08, C23C30/00, C23C4/12, B23K26/342, B23K26/144 – Способ получения стойкого композиционного покрытия на металлических деталях [Текст] / Оплеснин С.П., Крылова С.Е., Завьялов В.А., Михайлов А.В., Стрижов А.О., Плесовских А.Ю., Курноскин И.А., заявитель и патентообладатель ООО «Технология». - № 2020130409; заявл. 16.09.2020; опубл. 27.07.2021 – 8 с.;
12. Пат. 2709550 Российская Федерация, МПК В23К26/342 – Способ получения упрочнённого никельхромборкремниевого покрытия на металлических деталях [Текст] / Соболева Н.Н., Макаров А.В., Малыгина И.Ю., заявитель и патентообладатель ФГБУН «Институт физики металлов им. М.Н. Михеева» УрО РАН. - № 2018142122; заявл. 28.11.2018; опубл. 18.12.2019 – 10 с.;
13. Пат. 2478028 Российская Федерация, МПК С23С26/00, В23К26/34 – Способ наплавки коррозионно-эрозионного порошка присадочного материала на стальную поверхность детали [Текст] / Шастин В.И., Елисеев С.В., Сливинская Л.П., Коронатова И.П., Сигачев Н.П., заявитель и патентообладатель ФГБОУВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения». - № 2010147263/02; заявл. 18.10.2010; опубл. 27.03.2013 – 10 с.;
14. Пат. 2359797 Российская Федерация, МПК В23К26/34, В23К26/32, В23К26/42 – Способ лазерной наплавки медно-никелевых сплавов на детали алюминиевой бронзы [Текст] / Пронин-Валсамаки М.М., Вайнерман А.Е., Попов В.О., заявитель и патентообладатель ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей». - № 2007124232/02; заявл. 27.06.2007; опубл. 27.06.2009 – 6 с.;
15. Пат. 20110223351 США, МПК B05D7/02, B05D3/10, B05D3/06 – Laser Cladding of a Thermoplastic Powder on Plastics [Текст] / Verheyde B., Rombouts M., Vanhulsel A., Rego R., Motmans F., заявитель и патентообладатель Vlaamse Instelling VoorTechnologisch Onderzoek N.V. [VITO]. - № 13119691; заявл. 15.10.2009; опубл. 15.09.2011 – 8 с.;
16. Пат. 20160375523А1 США, МПК B23K26/34, B23K35/30, B23K26/144, B23K26/346, B23K26/70, C23C24/10 – Laser Cladding with Carbide Hard Particles [Текст] / Killian M.L., заявитель и патентообладатель EATON CORPORATION. - № 14901753; заявл. 01.07.2014; опубл. 29.12.2016 – 8 с.;
17. Пат. 20200324373А1 США, МПК B23K26/34, C23C24/10, B23K26/60, G01N3/08, C22C45/02 – Iron-based Amorphous Nanocrystalline Laser Cladding Composite Coating, Preparation Method and Test Method Thereof [Текст] / Baolong S., Xudong B., Qianqian W., заявитель(-и) и патентообладатель(-и) Baolong S., Xudong B., Qianqian W. - № 16848805; заявл. 14.04.2020; опубл. 15.10.2020 – 11 с.;
18. Пат. 20210207251А1 США, МПК C22C38/58, C22C38/50, C22C38/54, С22С38/44, С22С38/02, С22С38/00 – Iron-based Metal Powder for Ultra-High-Speed Laser Cladding, its Preparation Method and its Application [Текст] / Miaohui W., Xueyuan G., Borui D., Bowen S., Yifei X., Ning X., Sheng H., заявитель и патентообладатель Beijing National Innovation Institute of Lightweight LTD. - № 17/135,064; заявл. 28.12.2020; опубл. 08.07.2021 – 5 с.;
19. Пат. 2021216872A1, США, МПК A61L27/30, A61L27/50, A61L27/00, A61L27/28, A61F2/28, A61F2/30 – Methods of Silicon Nitride Laser Cladding [Текст] / McEntire B.J., Bal B.S., Bock R.M., заявитель и патентообладатель SINTX TECHNOLOGIES INC. - № 2021028641; заявл. 22.04.2021; опубл. 28.10.2021 – 83 с.;
20. Пат. 2019101478A4, Австралия, МПК С22С38/40, С22С 38/58, В23К26/144, В23К103/04, С23С24/10 – Stainless Steel Powder for Ultra-High Rate Laser Cladding [Текст] / Miaohui W., Xueyuan G., Borui D., Bin F., Ruifeng G., Bowen S., Yifei X., Ning X., заявитель и патентообладатель Beijing National Innovation Institute of Lightweight Ltd. - № 2019101478; заявл. 28.11.2019; опубл. 19.12.2019 – 13 с.;
21. Пат. 20210114104А1 США, МПК B22F9/14, B22F1/00, B22F9/08 – Method and Apparatus for the Production of High Purity Spherical Metallic Powders from a Molten Feedstock [Текст] / Allard B., Carabin P., Dorval Dion C.A., Mardan M., Proulx F., заявитель и патентообладатель Pyrogenesis Canada INC. - № 16/981,692; заявл. 18.03.2019; опубл. 16.09.2020 – 9 с.;
22. Пат. 2100479 Российская Федерация, МПК С23С26/00, В23К26/00 – Способ газопорошковой лазерной наплавки с двухсопловой подачей порошка [Текст] / Сафонов А.Н., Зебелин А.М., заявитель и патентообладатель Научно-исследовательский центр по технологическим лазерам РАН. - № 96100473/02; заявл. 04.01.1996; опубл. 27.12.1997 – 5 с.;
23. Пат. 2660499 Российская Федерация, МПК В23К26/342, В23К26/144 – Способ четырёхсопловой газопорошковой лазерной наплавки с регулированием расхода порошка [Текст] / Афанасьев Н.А., Букато В.К., Жмуренков А.Г., Кривогубцев С.К., Носырев Н.А., Стешенкова Н.А., Цибульский И.А., заявитель и патентообладатель АО «Центр технологии судостроения и судоремонта». – № 2016131950; заявл. 03.08.2016; опубл. 06.07.2018 – 10 с.

# ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1

УТВЕРЖДАЮ:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Ильинкова Т.А.

«\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2021 г.

З А Д А Н И Е

На проведение патентных исследований

Наименование работы: Порошки для лазерной наплавки

Задачи патентных исследований:

**1.** Изучение современного состояния в области разработок новых порошковых материалов для лазерной наплавки, а также способов их наплавления.

2. Определение наиболее активных патентователей: авторов, фирм в России и за рубежом.

3. Оформление отчёта в соответствии с требованиями ГОСТ Р 15.011-96

Календарный план

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды патентныхисследований | Подразделения –исполнители(соисполнители) | Ответственные исполнители(Ф.И.О.) | Сроки выполнения патентныхисследованийНачало.Окончание | Отчётныедокументы |
| Поиск патентов | - | Пакреев Я.А. | 14.09.202115.11 2021 | Отчёт о поиске |
| Исследованиенаправлений научно-исследовательской и производственной деятельности | - | Пакреев Я.А. | 16.11.202127.12.2021 | Курсовой проект |

Руководитель работ\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Ильинкова Т.А.

«14»\_декабря\_\_2021 г.