

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **033734**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.11.20

(21) Номер заявки
201500258

(22) Дата подачи заявки
2013.08.16

(51) Int. Cl. **C07C 11/24** (2006.01)
C07C 2/76 (2006.01)
C10G 9/00 (2006.01)
B01J 19/10 (2006.01)

(54) **УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ДЛЯ КОНВЕРСИИ МЕТАНА, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ СВЕРХЗВУКОВОЙ ПРОТОЧНЫЙ РЕАКТОР**

(31) **61/691,333; 13/967,697**

(32) **2012.08.21; 2013.08.15**

(33) **US**

(43) **2015.08.31**

(86) **PCT/US2013/055236**

(87) **WO 2014/031462 2014.02.27**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЮОП ЛЛК (US)

(72) Изобретатель:
**Бедар Роберт Л., Наунхаймер
Кристофер, Таулер Гэвин П., Леонард
Лаура Е., Дьюдбаут Родольф, Вудкок
Грегори О., Митгендорф Доналд Л.,
Китон Тони Дж. (US)**

(74) Представитель:
Воробьев В.А., Фелицына С.Б. (RU)

(56) **US-A-4724272**

SHAH Ramesh K. et al. Heat Exchange. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2007, p. 14-17, 27, 31, 46-48

Khimicheskaya entsiklopediya pod red. Zolotova Yu. A. et al. Tom 3. Moskva, Nauchnoe izdatelstvo "Bolshaya Rossyskaya Entsiklopediya", 1992, col. 5, 8

Khimicheskaya entsiklopediya pod red. Knunyants et al. Tom 1. Moskva, Izdatelstvo "Sovetskaya Entsiklopediya", 1988, col. 209

(57) Предлагаются устройство и способы для конверсии метана в потоке исходного сырья с получением ацетилена. Углеводородный поток вводят в сверхзвуковой реактор и подвергают пиролизу для осуществления конверсии по меньшей мере части метана с образованием ацетилена. Поток отходящего продукта реактора может быть подвергнут обработке для конверсии ацетилена с образованием другого углеводородного технологического продукта.

B1**033734****033734****B1**

Заявление о приоритете

Для настоящего изобретения испрашивается приоритет по предварительной заявке № 61/691333, поданной 21 августа 2012 г., и по заявке США № 13/967697, поданной 15 августа 2013 г.

Область техники, к которой относится изобретение

Описываются устройство и способы для конверсии метана в углеводородном потоке с образованием ацетилена с использованием сверхзвукового проточного реактора.

Уровень техники

На материалы легких олефинов, в том числе этилен и пропилен, приходится большая часть мирового потребления в нефтехимической промышленности. Легкие олефины используют при получении многочисленных химических продуктов в результате проведения полимеризации, олигомеризации, алкилирования и других хорошо известных химических реакций. Эти легкие олефины являются необходимыми "строительными" элементами для современных отраслей нефтехимической и химической промышленности. Поэтому методы получения больших количеств легких олефинов экономичным образом являются одним из фокусов исследовательской деятельности в нефтехимической промышленности. Основным источником этих материалов при нефтепереработке на сегодняшний день является паровой крекинг исходного нефтяного сырья.

Крекинг углеводородов, осуществляемый нагреванием исходного сырья в печи, в течение долгого времени использовался для получения подходящих продуктов, в том числе, например, олефиновых продуктов. Например, этилен, который входит в число наиболее важных продуктов химической промышленности, может быть получен в результате пиролиза исходного сырья в диапазоне от легких парафинов, таких как этан и пропан, до более тяжелых фракций, таких как лигроин. Обычно более легкое исходное сырье приводит к более высокому выходу этилена (50-55% для этана по сравнению с 25-30% для лигроина); однако с большей вероятностью выбор используемого сырья обуславливается его стоимостью. Исторически крекинг лигроина представлял собой наиболее крупный источник этилена, следом за которым следовали пиролиз, крекинг или дегидрирование этана и пропана. Однако вследствие большой потребности в этилене и других легких олефиновых материалах стоимость данных традиционных разновидностей исходного сырья постоянно росла.

Потребление энергии представляет собой еще один стоимостной фактор, влияющий на пиролитическое получение химических продуктов из различных типов исходного сырья. В течение последних нескольких десятилетий произошли значительные улучшения в эффективности процессов пиролиза, что привело к уменьшению стоимости получения продуктов пиролиза. В одной типичной или обычной пиролизной установке исходное сырье проходит через множество труб теплообменника, где его подвергают внешнему нагреванию до температуры пиролиза под действием продуктов сжигания топливного масла или природного газа и воздуха. Одна из более важных стадий, используемых для сведения к минимуму стоимости получения, заключалась в уменьшении времени пребывания исходного сырья в трубах теплообменника пиролизной печи. Уменьшение времени пребывания приводит к увеличению выхода желательного продукта при одновременном снижении образования более тяжелых побочных продуктов, которые имеют тенденцию приводить к обрастанию стенок пиролизных труб. Однако в традиционных способах пиролиза на данный момент остается лишь небольшое пространство для улучшения времен пребывания или совокупного потребления энергии.

Более недавние попытки уменьшения стоимости получения легких олефинов включают использование альтернативных способов и/или потоков исходного сырья. В одном подходе в качестве альтернативного исходного сырья для получения легких олефиновых продуктов используют оксигенаты углеводородов, а говоря более конкретно, метанол или диметиловый простой эфир (DME). Оксигенаты могут быть получены из доступных материалов, таких как уголь, природный газ, пластики вторичного использования, различные потоки углеродсодержащих отходов из промышленности и различные продукты и побочные продукты из сельскохозяйственной промышленности. Получение метанола и других оксигенатов из данных типов сырьевых материалов хорошо изучено и обычно включает один или несколько в целом известных процессов, таких как получение синтез-газа при использовании никелевого или кобальтового катализатора на стадии парового риформинга с последующим проведением стадии синтеза метанола при относительно высоком давлении с использованием катализатора на основе меди.

Сразу после получения оксигенатов указанный способ включает каталитическую конверсию оксигенатов, таких как метанол, с образованием желательных легких олефиновых продуктов в способе превращения оксигенатов в олефины (ОТО). Методики конверсии оксигенатов, такие как превращение метанола в легкие олефины (МТО), описываются в документе US 4387263, в котором описывается способ, использующий зону каталитической конверсии, содержащую катализатор, относящийся к цеолитному типу. В US 4587373 описывается использование цеолитного катализатора, подобного ZSM-5, для целей получения легких олефинов. С другой стороны, в документах US 5095163; US 5126308 и US 5191141 описывается технология конверсии МТО, использующая каталитический материал на основе нецеолитных молекулярных сит, такой как молекулярные сита на основе алюмофосфата металла (ELAPO). Способы ОТО и МТО, хотя и подходят для использования, используют непрямой способ получения желательного углеводородного продукта в результате проведения первоначальной конверсии подаваемого

исходного сырья в оксигенат, с последующей конверсией оксигената с образованием углеводородного продукта. Данный непрямой маршрут получения зачастую связывают с проигрышем по энергии и затратам, что зачастую выгоду от использования менее дорогостоящего материала исходного сырья.

Недавно были предприняты попытки использования пиролиза для конверсии природного газа с образованием этилена. В документе US 7183451 описывается нагревание природного газа до температуры, при которой одна из фракций претерпевает конверсию с образованием водорода и углеводородного продукта, такого как ацетилен или этилен. После этого поток продукта подвергают операции гашения для прекращения дальнейшей реакции, а после этого вводят в реакцию в присутствии катализатора для получения подлежащих транспортировке жидкостей. Жидкости, получаемые в конечном счете, включают лигроин, бензин или дизельное топливо. Несмотря на то, что данный способ может оказаться эффективным для конверсии части природного газа с образованием ацетилена или этилена, согласно оценкам данный подход будет приводить к получению только 40%-ного выхода ацетилена из потока метанового исходного сырья. Несмотря на то, что была установлена возможность увеличения выхода при использовании более высоких температур в сочетании с короткими временами пребывания, технические ограничения предотвращают дальнейшее усовершенствование данного способа в указанном отношении.

Несмотря на то, что предшествующие традиционные системы пиролиза дают решения для конверсии этана и пропана с образованием других подходящих для использования углеводородных продуктов, они оказались либо неэффективными, либо неэкономичными для конверсии метана с образованием данных других продуктов, таких как, например, этилен. Несмотря на то, что технология МТО является многообещающей, данные способы могут оказаться дорогостоящими вследствие непрямого подхода к получению желательного продукта. Вследствие постоянного увеличения цены исходного сырья для традиционных способов, такого как этан и лигроин, и избыточной поставки и, соответственно, низкой стоимости природного газа и других доступных источников метана, например в связи с не так давно установленной доступностью сланцевого газа, желательно обеспечить коммерчески реализуемые и эффективные по затратам способы использования метана в качестве исходного сырья для получения этилена и других полезных углеводородов.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 представляет собой вид сбоку в поперечном разрезе сверхзвукового реактора в соответствии с различными вариантами осуществления, описанными в настоящем документе;

фиг. 2 представляет собой схематический вид для системы конверсии метана с образованием ацетилена и других углеводородных продуктов в соответствии с различными вариантами осуществления, описанными в настоящем документе;

фиг. 3 представляет собой частичный вид сбоку в поперечном разрезе, демонстрирующий части сверхзвукового реактора с фиг. 1 в соответствии с различными вариантами осуществления, описанными в настоящем документе;

фиг. 4 представляет собой частичный вид сбоку в поперечном разрезе, демонстрирующий части сверхзвукового реактора с фиг. 1 в соответствии с различными вариантами осуществления, описанными в настоящем документе;

фиг. 5 представляет собой вид в поперечном разрезе, демонстрирующий сверхзвуковой реактор в соответствии с различными вариантами осуществления, описанными в настоящем документе;

фиг. 6 представляет собой частичный вид сбоку в поперечном разрезе, демонстрирующий части сверхзвукового реактора с фиг. 1 в соответствии с различными вариантами осуществления, описанными в настоящем документе;

фиг. 7 представляет собой частичный вид сбоку в поперечном разрезе, демонстрирующий части сверхзвукового реактора с фиг. 1 в соответствии с различными вариантами осуществления, описанными в настоящем документе;

фиг. 8 представляет собой частичный вид сбоку в поперечном разрезе, демонстрирующий части сверхзвукового реактора с фиг. 1 в соответствии с различными вариантами осуществления, описанными в настоящем документе;

фиг. 9 представляет собой вид в перспективе для части сверхзвукового реактора с фиг. 1;

фиг. 10 представляет собой частичный вид сбоку в поперечном разрезе, демонстрирующий части сверхзвукового реактора с фиг. 1 в соответствии с различными вариантами осуществления, описанными в настоящем документе;

фиг. 11 представляет собой частичный вид сбоку в поперечном разрезе, демонстрирующий части сверхзвукового реактора с фиг. 1 в соответствии с различными вариантами осуществления, описанными в настоящем документе;

фиг. 12 представляет собой частичный вид сбоку в поперечном разрезе, демонстрирующий части сверхзвукового реактора с фиг. 1 в соответствии с различными вариантами осуществления, описанными в настоящем документе;

фиг. 13 представляет собой перспективный вид в разрезе, демонстрирующий части сверхзвукового реактора с фиг. 1 в соответствии с различными вариантами осуществления, описанными в настоящем документе;

фиг. 14 представляет собой схематический вид для сверхзвукового реактора в соответствии с различными вариантами осуществления, описанными в настоящем документе.

Подробное описание изобретения

Одна из предложенных альтернатив прежним способам получения олефинов, которая не получила большого коммерческого успеха, включает подачу углеводородного исходного сырья в сверхзвуковой реактор и ускорение его до сверхзвуковой скорости для придания кинетической энергии, которая может быть преобразована в тепло, обеспечивающее протекание эндотермической реакции пиролиза. Вариации данного способа представлены в документах US 4136015; US 4724272; и российском патенте № SU 392723А. Данные способы включают сжигание текучей среды исходного сырья или носителя в среде, обогащенной кислородом, для увеличения температуры подаваемого исходного сырья и ускорения подаваемого исходного сырья до сверхзвуковых скоростей. В реакторе создается ударная волна для инициирования прохождения пиролиза или крекинга подаваемого исходного сырья.

Не так давно в документах US 5219530 и US 5300216 был предложен аналогичный способ, в котором используется ударноволновой реактор для подачи кинетической энергии в целях инициирования прохождения пиролиза природного газа для получения ацетилена. Говоря более конкретно, данный способ включает пропускание водяного пара через секцию нагревателя для получения перегретого состояния и ускорения до почти что сверхзвуковой скорости. Нагретую текучую среду отправляют в сопло, предназначенное для расширения текучей среды носителя с достижением сверхзвуковой скорости и более низкой температуры. Этановое исходное сырье пропускают через компрессор и нагреватель и инжигируют с использованием сопел для перемешивания с сверхзвуковой текучей средой носителя в целях турбулентного совместного перемешивания при скорости, соответствующей числу Маха 2,8, и температуре 427°C. Температура в секции смешения остается достаточно низкой для ограничения протекания преждевременного пиролиза. Ударноволновой реактор включает секцию пиролиза при постепенно увеличивающейся площади поперечного сечения, где под действием противодавления вследствие ограничения потока на выпускном отверстии в реакторе образуется стоячая ударная волна. Ударная волна быстро уменьшает скорость текучей среды, соответственно, быстро увеличивая температуру смеси в результате превращения кинетической энергии в тепло. Это немедленно иницирует прохождение пиролиза этанового исходного сырья с его конверсией в другие конечные продукты. После этого пиролизованная смесь подается в теплообменник для гашения реакции пиролиза.

В целом, здесь описываются способы и устройство для конверсии углеводородных компонентов в потоках метанового подаваемого исходного сырья при использовании сверхзвукового реактора. В настоящем изобретении термин "поток метанового исходного сырья" включает любой поток исходного сырья, содержащий метан. Потоки метанового исходного сырья, подаваемые для переработки в сверхзвуковом реакторе, в общем случае включают метан и образуют по меньшей мере часть технологического потока. Устройство и способы, представленные в настоящем документе, обеспечивают конверсию по меньшей мере части метана с образованием углеводородного соединения желательного продукта, что приводит к получению потока продукта, имеющего более высокую концентрацию углеводородного соединения продукта по сравнению с тем, что имеет место для потока исходного сырья.

Термин "углеводородный поток" в настоящем изобретении относится к одному или нескольким потокам, которые обеспечивают подачу по меньшей мере части потока метанового исходного сырья, поступающего в сверхзвуковой реактор, как это описывается в настоящем документе, или получают из сверхзвукового реактора из потока метанового исходного сырья вне зависимости от того, будет или нет проведена дополнительная обработка или переработка такого углеводородного потока. Что касается примера, проиллюстрированного на фиг. 2, то "углеводородный поток" может включать поток метанового исходного сырья 1, поток отходящего продукта из сверхзвукового реактора 2, поток желательного продукта 3, покидающий расположенный ниже по ходу технологического потока процесс конверсии углеводородов, или любые промежуточные потоки или потоки побочных продуктов, полученные во время осуществления способов, описанных в настоящем документе. Углеводородный поток может переноситься через линию технологического потока 115, как это продемонстрировано на фиг. 2, которая включает линии для переноса каждой из частей описанного выше технологического потока. Термин "технологический поток" в настоящем изобретении включает описанный выше "углеводородный поток", а также он может включать поток текучей среды носителя, поток топлива 4, поток источника кислорода 6 или любые потоки, используемые в системах и способах, описанных в настоящем документе. Технологический поток может переноситься через линию технологического потока 115, которая включает линии для переноса каждой из частей описанного выше технологического потока. В соответствии с иллюстрацией на фиг. 2 любой поток, выбираемый из потока метанового исходного сырья 1, потока топлива 4 и потока источника кислорода 6, может быть предварительно нагрет, например при использовании одного или нескольких нагревателей 7.

Прошлые попытки по конверсии потоков легкого парафинового или алканового исходного сырья, в том числе потоков этанового и пропанового исходного сырья, с образованием других углеводородов при использовании сверхзвуковых проточных реакторов продемонстрировали потенциальную возможность получения более высоких выходов желательных продуктов из потока конкретного исходного сырья по

сравнению с другими более традиционными системами пиролиза. Более конкретно, способность данных типов способов обеспечивать получение очень высоких температур реакции при очень коротких характерных временах пребывания обеспечивает значительное преимущество по сравнению с традиционными способами пиролиза. Не так давно было установлено, что данные способы могут также использоваться для конверсии метана с образованием ацетилена и других полезных углеводородов, в то время как способы более традиционного пиролиза были неспособны или неэффективны для таких конверсий.

Однако основная часть прежней работы с системами сверхзвуковых реакторов была теоретической или носила исследовательский характер и, таким образом, не обращалась к рассмотрению проблем, связанных с осуществлением способа на практике в коммерческих масштабах. В дополнение к этому многие из данных прошлых разработок не предусматривают использования сверхзвуковых реакторов для осуществления пиролиза потока метанового исходного сырья и имеют тенденцию к фокусировке главным образом на пиролизе этана и пропана. Одной из проблем, которая недавно была выявлена при использовании сверхзвукового проточного реактора для пиролиза легких алканов, а, говоря более конкретно, пиролиза метанового исходного сырья с образованием из него ацетилена и других полезных продуктов, включает повреждающее воздействие, которое тяжелые условия эксплуатации для пиролиза метана могут оказывать на сверхзвуковой проточный реактор и другое используемое оборудование. Предыдущие работы не оценивали данные тяжелые условия эксплуатации или не обращались к ним в полной мере. Например, сверхзвуковой реактор может функционировать при температурах, достигающих вплоть до 3000°C и более совместно с высокими давлениями. Данные высокие температуры и давления создают риск механического разрушения в стенках реактора в результате плавления, разрывания или ползучести. Более конкретно, как было установлено, при повышенной температуре горячие пятна на стенках могут свидетельствовать о плавлении оболочки. В дополнение к этому, даже в случае охлаждения стенок может возникать повреждение химического характера, такое как, например, окислительно-восстановительные реакции, образующие неактивные продукты, которые утрачиваются, уходя в газовый поток и приводя к появлению углубления. Кроме того, может возникать транслированное окисление, создающее непростающие оксиды, которые утрачиваются, уходя в газовый поток.

В дополнение к этому, поток носителя и поток исходного сырья могут проходить через реактор при сверхзвуковых скоростях, что может быстро приводить к эрозии множество материалов, которые могли бы использоваться для получения оболочки реактора. Кроме того, определенные вещества и загрязнители, которые могут присутствовать в углеводородном потоке, могут вызывать коррозию, окисление и/или восстановление стенок или оболочки реактора и других оборудования или компонентов реактора. Такие компоненты, вызывающие появление проблем с коррозией, окислением или восстановлением, могут включать, например, сероводород, воду, метантиол, арсин, пары ртути, карбидизацию в результате прохождения реакции с самим топливом или водородное охрупчивание. Еще одна проблема, которая может существовать при высоких температурах, заключается в прохождении реакций с промежуточными короткоживущими частицами, такими как радикалы, например гидроксид.

Поэтому в различных вариантах осуществления, описанных в настоящем документе, предлагаются устройство и способы для конверсии метана в углеводородных потоках с образованием ацетилена и других продуктов. Как было установлено, использование устройства в соответствии с настоящим документом приводит к усовершенствованию всего способа пиролиза легкого алканового исходного сырья, в том числе метанового исходного сырья, с образованием ацетилена и других полезных продуктов. Устройство и способы, описанные в настоящем документе, также улучшают способность установки и ассоциированных с ней компонентов и оборудования выдерживать воздействие повреждения и возможного разрушения вследствие использования в реакторе экстремальных условий эксплуатации.

В соответствии с одним подходом устройство и способы, описанные в настоящем документе, используют для обработки углеводородного технологического потока в целях конверсии по меньшей мере части метана в углеводородном технологическом потоке с образованием ацетилена. Углеводородный технологический поток, описанный в настоящем документе, включает поток метанового исходного сырья, поступающий в систему, который включает метан, а также может включать этан или пропан. Поток метанового исходного сырья также может включать комбинации из метана, этана и пропана при различных концентрациях, а также может включать и другие углеводородные соединения, а также загрязнители. В одном подходе поток углеводородного исходного сырья включает природный газ. Природный газ может поступать из широкого ассортимента источников, включающих нижеследующее, но не ограничивающихся только этим: газовые месторождения, нефтяные месторождения, угольные месторождения, гидравлический разрыв пласта для сланцевых месторождений, биомасса и свалочный газ. В еще одном подходе поток метанового исходного сырья может включать поток из другой части нефтеперегонной или нефтехимической установки. Например, легкие алканы, в том числе метан, зачастую отделяют во время переработки сырой нефти с образованием различных продуктов, и поток метанового исходного сырья может быть подан из одного из таких источников. Данные потоки могут быть поданы с той же самой нефтеперегонной установки или с другой нефтеперегонной установки или со сбросного газа нефтеперегонной установки. Поток метанового исходного сырья также может включать поток из комбинации различных источников.

В соответствии со способами и системами, описанными в настоящем документе, поток метанового исходного сырья может быть подан из удаленного местоположения или может находиться в местоположении или местоположениях систем и способов, описанных в настоящем документе. Например, несмотря на то, что источник потока метанового исходного сырья может располагаться на той же самой нефтеперегонной или нефтехимической установке, где реализуют описываемые здесь способы и системы, как, например, из другого способа конверсии углеводородов, расположенного в данном месте, или из местного месторождения природного газа, поток метанового исходного сырья может также подаваться из удаленного источника через трубопроводы или с использованием других способов транспортировки. Например, поток исходного сырья может быть подан из удаленной нефтехимической или нефтеперегонной установки углеводородов или удаленного месторождения природного газа и подан в виде исходного сырья в системы и способы, описанные в настоящем документе. На удаленном источнике может быть проведена первоначальная переработка метанового потока для удаления определенных загрязнителей из потока метанового исходного сырья. Там, где осуществляют такую первоначальную переработку, она может рассматриваться в качестве части систем и способов, описанных в настоящем документе, или она может происходить выше по ходу технологического потока от систем и способов, описанных в настоящем документе. Таким образом, поток метанового исходного сырья, поданный в системы и способы по настоящему изобретению, может характеризоваться различными уровнями содержания загрязнителей, в зависимости от того, будет или нет проведена первоначальная переработка выше по ходу технологического потока.

В одном примере поток метанового исходного сырья характеризуется уровнем содержания метана в диапазоне от 65 до 100 мол.%. В еще одном примере концентрация метана в углеводородном подаваемом исходном сырье находится в диапазоне от 80 до 100 мол.% от углеводородного исходного сырья. В еще одном другом примере концентрация метана находится в диапазоне от 90 до 100 мол.% от углеводородного исходного сырья.

В одном примере концентрация этана в метановом подаваемом исходном сырье находится в диапазоне от 0 до 35 мол.%, а в еще одном примере от 0 до 10 мол.%. В одном примере концентрация пропана в метановом подаваемом исходном сырье находится в диапазоне от 0 до 5 мол.%, а в еще одном примере от 0 до 1 мол.%

Поток метанового исходного сырья также может включать тяжелые углеводороды, такие как ароматические, парафиновые, олефиновые и нафтеновые углеводороды. Данные тяжелые углеводороды в случае их присутствия, вероятно, будут присутствовать в концентрациях от 0 до 100 мол.%. В еще одном примере они могут присутствовать в концентрациях от 0 до 10% (моль) или от 0 до 2 мол.%

Устройство и способ для получения ацетилена из потока метанового исходного сырья, описанные в настоящем документе, используют сверхзвуковой проточный реактор для пиролиза метана в потоке исходного сырья в целях получения ацетилена. Сверхзвуковой проточный реактор может включать один или несколько реакторов, способных создавать сверхзвуковое прохождение текучей среды носителя и потока метанового исходного сырья и обеспечивать расширение текучей среды носителя для инициирования протекания реакции пиролиза. В одном подходе способ может включать сверхзвуковой реактор, в общем виде описанный в документе US 4724272, который во всей своей полноте включается в настоящий документ посредством ссылки. В еще одном подходе способ и система могут включать сверхзвуковой реактор, такой как описанный как "сверхзвуковой" реактор в документах US 5219530 и US 5300216, которые во всей своей полноте включаются в настоящий документ посредством ссылки. В еще одном другом подходе сверхзвуковой реактор, описанный как "ударноволновой" реактор, может включать реактор, такой как описанный в публикации "Supersonic Injection and Mixing in the Shock Wave Reactor" Robert G. Cerff, University of Washington Graduate School, 2010.

Несмотря на то, что в настоящем способе может быть использован широкий ассортимент сверхзвуковых реакторов, на фиг. 1 проиллюстрирован один пример реактора 5. Что касается фиг. 1, то сверхзвуковой реактор 5 включает реакторную емкость 10, в общем случае задающую камеру реактора 15. Несмотря на то, что реактор 5 проиллюстрирован в виде одиночного реактора, необходимо понимать, что он может быть получен модульным образом или в виде отдельных емкостей. В случае модульного получения или получения в виде отдельных компонентов модули или отдельные компоненты реактора могут соединяться друг с другом постоянно или временно или могут отделяться друг от друга при использовании текучих сред, удерживаемых другими способами, как, например, при регулировке разности давлений между ними. Зона или камера сжигания 25 предназначена для сжигания топлива в целях получения текучей среды носителя, демонстрирующей желательные температуру и расход. Реактор 5 необязательно может включать впускное отверстие для текучей среды носителя 20, предназначенное для введения в реактор дополнительной текучей среды носителя. Один или несколько инжекторов топлива 30 используются для инжектирования сжигаемого топлива, например водорода, в камеру сжигания 26. Для инжектирования источника кислорода в камеру сжигания 26 в целях облегчения сжигания топлива могут использоваться одни и те же или другие инжекторы. Нагнетание топлива и источника кислорода может происходить в аксиальном направлении, тангенциальном направлении, радиальном направлении или другом направлении, включая комбинацию из различных направлений. Топливо и кислород сжигают для

получения потока горячей текучей среды носителя, обычно имеющего температуру в диапазоне от 1200 до 3500°C в одном примере, от 2000 до 3500°C в еще одном примере и от 2500 до 3200°C в еще одном другом примере. В настоящем документе также предусматривается получение потока горячей текучей среды носителя по другим известным способам, включающим способы без сжигания. В соответствии с одним примером поток текучей среды носителя имеет давление, составляющее 1 атм и более, большее чем 2 атм в еще одном примере и большее чем 4 атм в еще одном примере.

Поток горячей текучей среды носителя из зоны сжигания 25 пропускают через сверхзвуковой экспандер 51, который включает сопло Лавала 50 (суживающееся-расширяющееся сопло) для увеличения скорости текучей среды носителя до числа Маха более 1,0 в одном примере, числа Маха в диапазоне от 1,0 до 4,0 в еще одном примере и числа Маха в диапазоне от 1,5 до 3,5 в еще одном примере. В данном отношении время пребывания текучей среды в реакторной части сверхзвукового проточного реактора находится в диапазоне 0,5-100 мс в одном примере, 1,0-50 мс в еще одном примере и 1,5-20 мс в еще одном примере. Температура потока текучей среды носителя при прохождении через сверхзвуковой экспандер в соответствии с одним примером находится в диапазоне от 1000 до 3500°C, от 1200 до 2500°C в еще одном примере и от 1200 до 2000°C в еще одном примере.

Используется впускное отверстие для исходного сырья 40, предназначенное для инжектирования потока метанового исходного сырья в реактор 5 в целях перемешивания с текучей средой носителя. Впускное отверстие для исходного сырья 40 может включать один или несколько инжекторов 45 для инжектирования исходного сырья в сопло 50, зону смешения 55, зону диффузора 60 или зону или камеру реакции 65. Инжектор 45 может включать коллектор, в том числе, например, множество инжекционных отверстий или сопел для инжектирования исходного сырья в реактор 5.

В одном подходе реактор 5 может включать зону смешения 55 для перемешивания текучей среды носителя и потока исходного сырья. В одном подходе, как это проиллюстрировано на фиг. 1, реактор 5 может иметь отдельную зону смешения между, например, сверхзвуковым экспандером 51 и зоной диффузора 60, в то время как в еще одном подходе зона смешения интегрирована в секцию диффузора, и перемешивание может происходить в сопле 50, зоне расширения 60 или зоне реакции 65 реактора 5. Зона расширения 60 включает стенку сопряжения с расширением 70 для быстрого уменьшения скорости газов, протекающих через нее, в целях преобразования кинетической энергии протекающей текучей среды в тепловую энергию для дополнительного нагрева потока в целях стимулирования прохождения пиролиза метана в подаваемом исходном сырье, которое может протекать в секции расширения 60 и/или в находящейся ниже по ходу технологического потока секции реакции 65 реактора. Текучую среду подвергают быстрому гашению в зоне гашения 72 для прекращения реакции пиролиза во избежание дальнейшей конверсии желательного ацетиленового продукта в другие соединения. Для введения в зону гашения 72 гасящей текучей среды, например воды или водяного пара, могут быть использованы распылители 75.

Отходящий продукт реактора выходит из реактора через выпускное отверстие 80 и, как это упоминалось выше, образует часть углеводородного потока. Отходящий продукт будет включать более высокую концентрацию ацетилена по сравнению с потоком исходного сырья и уменьшенную концентрацию метана по сравнению с потоком исходного сырья. Поток отходящего продукта реактора в настоящем документе также может быть назван ацетиленовым потоком, поскольку он включает увеличенную концентрацию ацетилена. Ацетиленовый поток может быть промежуточным потоком в способе получения другого углеводородного продукта, или он может быть подвергнут дальнейшей переработке и улавливанию в виде потока ацетиленового продукта. В одном примере поток отходящего продукта реактора имеет концентрацию ацетилена перед добавлением гасящей текучей среды в диапазоне от 2 до 30 мол.%. В еще одном примере концентрация ацетилена находится в диапазоне от 5 до 25 мол.% и от 8 до 23 мол.% в еще одном примере.

Реакторная емкость 10 включает оболочку реактора 11. Необходимо отметить то, что термин "оболочка реактора" относится к стенке или стенкам, образующим реакторную емкость, которая задает камеру реактора 15. Оболочка реактора 11 обычно будет обладать кольцевой структурой, определяющей в общем случае пустотелую центральную камеру реактора 15. Оболочка реактора 11 может включать один слой материала, одну комбинированную конструкцию или несколько оболочек, при этом одна или несколько оболочек располагаются внутри одной или нескольких других оболочек. Оболочка реактора 11 также включает различные зоны, компоненты и/или модули, как это описывалось выше, и дополнительно описывается ниже для различных зон, компонентов и/или модулей сверхзвукового реактора 5. Оболочка реактора 11 может быть получена в виде неразъемного элемента, задающего все различные зоны и компоненты реактора, или она может быть модульной, при этом различные модули задают различные зоны и/или компоненты реактора.

В соответствии с одним подходом одну или несколько частей стенки или оболочки реактора 11 получают в виде отливки. В данном случае одна или несколько частей не может быть получена в результате сваривания или формования или других способов изготовления, хотя в отношении отливки может быть проведена дополнительная обработка, как это описывается ниже. Не намереваясь связывать себя теорией, авторы полагают, что поскольку сварочные швы зачастую включают остаточные напряжения,

получение стенки или стенок реактора в результате сваривания может привести к получению реактора, который в большей степени подвержен разрушению или разрыванию при высоких температурах и давлениях. В дополнение к этому, вследствие их переменной микроструктуры и возможных градиентов состава сварочные швы также могут оказаться в большей мере подверженными воздействию коррозии и растрескивания. Аналогично, как представляется, подобное формование стенок реактора будет в результате приводить к получению заметных остаточных напряжений, полученных в стенках реактора, что вызывает появление схожих проблем с функционированием при высоких температурах и давлениях. Таким образом, в результате получения части оболочки реактора в виде отливки формируется более изотропная микроструктура. Отлитая часть оболочки реактора может придавать коррозионную стойкость по сравнению с тем, что имеет место для подобных компонентов, полученных по другим способам, таким как сваривание или формование. Получение оболочки реактора методом отливки также может обеспечить получение более однородного удельного теплового потока и более однородных температур в компоненте. Получение части оболочки реактора из отливки также может обеспечить получение лучшего и более однородного сопротивления высокотемпературным ползучести и разрушению по сравнению с тем, что имеет место для получения оболочки другими способами.

В соответствии с одним подходом отливка может включать направленную отливку для получения улучшенной стойкости к термическому удару или сопротивлению ползучести при повышенных температурах и давлениях реакции. В одном подходе отливка включает структуру столбчатых кристаллов. В еще одном подходе отливка включает монокристаллическую структуру.

Отливка может быть получена из одного или нескольких материалов, как это дополнительно описывается ниже. Отлитая часть реактора, кроме того, может быть подвергнута обработке в соответствии с различными способами, известными на современном уровне техники. Например, отлитая оболочка реактора 11 может быть подвергнута процедуре нанесения покрытия, как это дополнительно описывается в настоящем документе, термической обработке, отпуску, карбидированию, нитридированию или обработке по другим известным способам для улучшения ее свойств.

Для получения всей оболочки реактора 11 может быть использована одна отливка, или оболочка реактора 11 может включать индивидуально отлитые компоненты или модули, как это дополнительно описывается в настоящем документе, компоновываемые в сборке для получения оболочки реактора 11. Кроме того, там, где оболочка реактора 11 включает различные слои, в том числе покрытия, внутренний и внешний слои и тому подобное, как это дополнительно описывается в настоящем документе, данные слои могут быть отлиты раздельно или совместно, а после этого выдержаны раздельно или соединены друг с другом.

В соответствии с различными другими подходами одна или несколько частей оболочки сверхзвукового реактора могут быть получены по известным способам, отличным от отливки, таким как, например, в случае порошковой металлургии, где может быть проведено уплотнение в результате горячего изостатического брикетирования, горячего изостатического прессования порошка на подложке или лазерного спекания или по другим подходящим для использования способам спекания, или в результате обработки заготовки на металлорежущем станке.

В соответствии с одним подходом по меньшей мере часть оболочки реактора 11 конструируют из материала, имеющего высокую температуру плавления, для получения сопротивляемости воздействию высоких температур при эксплуатации сверхзвукового реактора 5. В одном подходе один или несколько материалов, образующих часть оболочки реактора 11, могут характеризоваться продолжительной малоцикловой усталостной долговечностью, высокими пределом текучести, сопротивлением ползучести и разрушению под воздействием механического напряжения, окислительной стойкостью и совместимостью с хладагентами и топливами. В одном примере по меньшей мере часть оболочки реактора 11 получают из материала, имеющего температуру плавления в диапазоне от 1200 до 4000°C, а в еще одном примере от 1800 до 3500°C. Материалы также могут демонстрировать стабильность микроструктуры в ходе осуществления различных типов термической и механической переработки, совместимость со способами соединения и хорошую адгезию по отношению к стойким к окислению покрытиям. Некоторые предпочтительные материалы для получения по меньшей мере части оболочки реактора включают суперсплавы и алюминиды никеля и Ti с гамма-фазой. В соответствии с одним подходом суперсплавом является суперсплав на основе никеля, а в соответствии с еще одним подходом суперсплавом является суперсплав на основе железа.

В одном подходе часть оболочки 11 или стенки реактора получают из суперсплава. В связи с этим стенка может обеспечивать получение превосходных механической прочности и сопротивления ползучести при температурах сжигания и пиролиза, протекающих место в реакторе. Таким образом устройство также может ограничивать плавление или разрушение вследствие воздействия температуры и давлений эксплуатации в камере реактора 15.

В соответствии с еще одним подходом часть оболочки реактора 11 получают из материала, выбираемого из группы, состоящей из карбида, нитрида, диборида титана, сиалоновой керамики, диоксида циркония, диоксида тория, углерод-углеродного композита, вольфрама, тантала, молибдена, хрома, никеля и их сплавов.

В соответствии с еще одним другим подходом часть оболочки реактора 11 получают в виде отливки, где отливка содержит компонент, выбираемый из группы, состоящей из дуплексной нержавеющей стали, супердуплексной нержавеющей стали и суперсплава на основе никеля, характеризующегося низкой ползучестью при высокой температуре.

Для получения хорошей коррозионной стойкости могут быть включены хром или никель.

В соответствии с еще одним аспектом стенки реактора конструируют из материала, характеризующегося высокой теплопроводностью. Таким образом тепло камеры реактора 15 может быть быстро от нее отведено. Это может предотвратить увеличение поверхностной температуры внутренней поверхности оболочки реактора 11 до температур, равных температуре реактора или близких к ней, что могло бы вызвать плавление, химическое горение или другое ухудшение качества в отношении стенок оболочки реактора 11. В одном примере одну или несколько частей реактора получают из материала, характеризующегося теплопроводностью в диапазоне от 200 до 500 Вт/м·К. В еще одном примере теплопроводность находится в диапазоне от 300 до 450 Вт/м·К. В еще одном другом примере теплопроводность находится в диапазоне от 200 до 346 Вт/м·К и может находиться в диапазоне от 325 до 375 Вт/м·К в еще одном другом примере.

Как было установлено, в соответствии с данным подходом оболочка реактора может быть получена из материала, имеющего относительно низкую температуру плавления, при условии, что этот материал будет характеризоваться очень высокой проводимостью. Поскольку тепло от камеры реакции 15 в данном подходе отводится быстро, оболочка реактора 11 не подвергается воздействию слишком высокой температуры. В связи с этим при получении части оболочки реактора из материала, характеризующегося высокой теплопроводностью, этот материал может иметь температуру плавления, меньшую, чем температура в камере реактора 15. В одном примере часть оболочки реактора 11 получают из материала, имеющего температуру плавления в диапазоне от 500 до 2000°C. В еще одном примере часть оболочки реактора 11 может быть получена из материала, имеющего температуру плавления в диапазоне от 800 до 1300°C, а может быть получена из материала, имеющего температуру плавления в диапазоне от 1000 до 1200°C в еще одном примере.

В соответствии с одним подходом материал, характеризующийся высокой теплопроводностью, включает металл или металлический сплав. В одном подходе одна или несколько частей оболочки реактора 11 могут быть получены из меди, серебра, алюминия, циркония, ниобия и их сплавов. В данном отношении необходимо отметить, что один или несколько перечисленных выше материалов также могут быть использованы для получения покрытия на подложке оболочки реактора или для получения слоя многослойной оболочки реактора 11. В соответствии с одним подходом часть оболочки реактора 11 включает медь или медный сплав. В одном примере часть оболочки реактора включает материал, выбираемый из группы, состоящей из сплавов меди-хрома, меди-хрома-цинка, меди-хрома-ниобия, меди-никеля и меди-никеля-вольфрама. В еще одном примере часть оболочки реактора содержит сплав ниобия-серебра. Для улучшения отвода тепла от камеры реактора может быть использовано охлаждение для более быстрого отвода тепла от камеры реактора таким образом, чтобы выдерживать ее температуру ниже допустимой температуры.

В соответствии с еще одним подходом оболочка реактора 11 может включать множество слоев. Оболочка реактора 11, проиллюстрированная на фиг. 3, включает внутренний слой 210, определяющий камеру реактора 15, и внешний слой 205, полученный вокруг внутреннего слоя 210. Несмотря на то, что оболочка реактора 11, проиллюстрированная на фиг. 3, имеет два слоя в целях облечения объяснения, как это проиллюстрировано на фиг. 8, необходимо понимать, что оболочка реактора 11 может включать три и более слоя, имеющих один или несколько промежуточных слоев 211 между внутренним слоем 210 и внешним слоем 205. Кроме того, снаружи внешнего слоя 212 могут быть расположены один или несколько дополнительных внешних слоев 212. Внутри внутреннего слоя 210 могут быть расположены один или несколько дополнительных внутренних слоев 213.

В одном подходе внутренний слой 210 включает покрытие, которое получают на внутренней поверхности внешнего слоя 205 или любых вклинивающихся промежуточных слоях 211. В данном отношении внешний слой 205 образует подложку, на которую наносят покрытие внутреннего слоя 210. В альтернативном варианте внутренние слои 210 могут обеспечивать наличие подложки, на которую наносят покрытие внешнего слоя 205. Один или оба слоя, выбираемых из внутреннего слоя 210 и внешнего слоя 205, могут быть получены в виде отливки, как это описывалось прежде, или они могут быть получены по другим известным способам в соответствии с данным подходом.

В одном подходе по меньшей мере часть внутреннего слоя 210 включает описанный выше материал, имеющий высокую температуру плавления. В соответствии с еще одним подходом внутренний слой 210 включает материал, выбираемый из группы, состоящей из карбида, нитрида, диборида титана, сиалоновой керамики, диоксида циркония, диоксида тория, углерод-углеродного композита, вольфрама, тантала, молибдена, хрома, никеля и их сплавов. В соответствии с еще одним другим подходом внутренний слой 210 включает суперсплав, а в соответствии с еще одним подходом включает материал, выбираемый из группы, состоящей из дуплексной нержавеющей стали, супердуплексной нержавеющей стали и суперсплава на основе никеля, характеризующегося низкой ползучестью при высокой температуре. В

связи с этим внутренний слой 210 может быть выбран для получения выгодных эксплуатационных характеристик, в частности, поскольку он подвергается воздействию жестких условий эксплуатации в камере реактора 15, в том числе ее высокой температуры.

В еще одном подходе по меньшей мере часть внутреннего слоя 210 включает описанный выше материал, характеризующийся высокой теплопроводностью. В соответствии с еще одним подходом внутренний слой 210 включает материал, выбираемый из группы, состоящей из меди, серебра, алюминия, циркония, ниобия и их сплавов. В соответствии с еще одним другим подходом внутренний слой 210 включает материал, выбираемый из группы, состоящей из сплавов меди-хрома, меди-хрома-цинка, меди-хрома-ниобия, меди-никеля и меди-никеля-вольфрама. В еще одном примере часть оболочки реактора содержит сплав ниобия-серебра. В данном отношении внутренний слой 210 может быть выбран для получения выгодных эксплуатационных характеристик, в частности, поскольку он подвергается воздействию жестких условий эксплуатации в камере реактора 15, в том числе ее высокой температуры.

В одном подходе внешний слой 205 может быть получен из материала, отличающегося от материала внутреннего слоя 210. Материал внешнего слоя 205 может быть выбран для получения опорной конструкции или других желательных свойств у оболочки реактора 11. В одном примере внешний слой 205 или промежуточный слой включают коррозионно-стойкую сталь. Другие подходящие для использования материалы при получении внешнего слоя 205 оболочки реактора 11 включают нижеследующее, но не ограничиваются только этим: дуплексная нержавеющая сталь, супердуплексная нержавеющая сталь и суперсплав на основе никеля, характеризующийся низкой ползучестью при высокой температуре, суперсплав на основе никеля, характеризующийся низкой ползучестью при высокой температуре, Nimonic™, сплавы Inco™ 718, Haynes™, 230 или другие никелевые сплавы, такие как Mar-M-247.

В одном подходе внутренний слой 210 включает термобарьерное покрытие. Термобарьерные покрытия могут быть получены из материала, который демонстрирует желательные свойства для использования в камере реактора 15, такие как, например, высокая температура плавления для выдерживания воздействия высоких температур в камере реактора 15. Например, термобарьерное покрытие может включать диоксид циркония, стабилизированный оксидом иттрия, лантан и гексаалюминат лантана, допированный редкоземельным элементом, карбид гафния или вольфрам, поскольку оба материала характеризуются высокими температурами плавления, хорошими механическими свойствами при высоких температурах эксплуатации и необязательно низкой теплопроводностью.

В одном подходе между внутренним слоем 210 и поверхностью внешнего слоя 205 предусматривают связывающее покрытие, включающее термобарьерное покрытие в соответствии с одним подходом. Связывающее покрытие может включать сплавы NiCrAlY, NiCoCrAlY, которые наносят на металлическую поверхность в результате плазменного напыления, физического осаждения из паровой фазы при использовании электронного пучка или по другим способам, известным на современном уровне техники. Другие связывающие покрытия для медных сплавов могут включать сплав NiAl, нанесенный при низком давлении, в результате вакуумно-плазменного напыления или по другим способам, известным на современном уровне техники.

Слоистая оболочка реактора 11 может быть получена по любому способу, известному на современном уровне техники. В одном подходе для получения слоистой оболочки реактора может быть использовано покрытие внутреннего диаметра, полученное на оправке, при получении покрытия на материале подложки. В соответствии с еще одним подходом покрытие может быть получено на подложке в результате горячего изостатического брикетирования для получения слоистой оболочки реактора 11. В соответствии с еще одним другим подходом для получения покрытия на подложке может быть использовано плакирование. В еще одном дополнительном подходе внутренний слой и внешний слой могут быть получены раздельно и соединены друг с другом. Один пример данного подхода включает раздельную отливку внутреннего слоя 210 и внешнего слоя 205 и пайку твердым припоем для соединения их друг с другом с образованием слоистой оболочки реактора 11. Также может быть использована и двухслойная отливка в результате отливки второго сплава поверх первого сплава.

В еще одном подходе, как это проиллюстрировано на фиг. 4, по меньшей мере часть оболочки реактора 11 может включать раздельные внутреннюю оболочку 215 и внешнюю оболочку 220. Подобно описанной прежде слоистой оболочке реактора 11 оболочка реактора, имеющая раздельные внутреннюю оболочку 215 и внешнюю оболочку 220, может обеспечивать устойчивость внутренней оболочки 215 к воздействию условий эксплуатации камеры реактора 15 в то время, как внешняя оболочка 220 обеспечивает получение опорной конструкции и/или других желательных свойств у оболочки реактора 11.

В одном подходе по меньшей мере часть внутренней оболочки 215 включает описанный выше материал, имеющий высокую температуру плавления. В соответствии с еще одним подходом по меньшей мере часть внутренней оболочки 215 включает материал, выбираемый из группы, состоящей из карбида, нитрида, диборида титана, сиалоновой керамики, диоксида циркония, диоксида тория, углерод-углеродного композита, вольфрама, тантала, молибдена, хрома, никеля и их сплавов. В соответствии с еще одним другим подходом по меньшей мере часть внутренней оболочки 210 включает суперсплав, а в соответствии с еще одним подходом включает материал, выбираемый из группы, состоящей из дуплекс-

ной нержавеющей стали, супердуплексной нержавеющей стали и суперсплава на основе никеля, характеризующегося низкой ползучестью при высокой температуре. В данном отношении внутренняя оболочка 215 может быть выбрана для получения выгодных эксплуатационных характеристик, в частности, поскольку она подвергается воздействию жестких условий эксплуатации в камере реактора 15.

В еще одном подходе по меньшей мере часть внутренней оболочки 215 включает описанный выше материал, характеризующийся высокой теплопроводностью. В соответствии с еще одним подходом внутренняя оболочка 215 включает материал, выбираемый из группы, состоящей из меди, серебра, алюминия, циркония, ниобия и их сплавов. В соответствии с еще одним другим подходом внутренняя оболочка 215 включает материал, выбираемый из группы, состоящей из сплавов меди-хрома, меди-хрома-цинка, меди-хрома-ниобия, меди-никеля и меди-никеля-вольфрама. В еще одном примере внутренняя оболочка 215 содержит сплав ниобия-серебра. В еще одном подходе внутренняя оболочка может включать материал, содержащий медный сплав, подвергнутый дисперсионному твердению при наличии соединений второй фазы, которые обеспечивают сохранение высокой теплопроводности. В данном отношении внутренняя оболочка 215 может быть выбрана для получения выгодных эксплуатационных характеристик, в частности, поскольку она подвергается воздействию жестких условий эксплуатации в камере реактора 15, в том числе ее высокой температуры.

В одном подходе внешняя оболочка 220 может быть получена материала, отличающегося от материала внутренней оболочки 215. Внешняя оболочка 220 может быть выбрана для получения опорной конструкции или других желательных свойств у оболочки реактора 11. В одном примере внешняя оболочка 220 включает коррозионно-стойкую сталь. Другие подходящие для использования материалы при получении внешнего слоя 205 оболочки реактора 11 включают нижеследующее, но не ограничиваются только этим: дуплексная нержавеющая сталь, супердуплексная нержавеющая сталь и суперсплав на основе никеля, характеризующийся низкой ползучестью при высокой температуре, суперсплав на основе никеля, характеризующийся низкой ползучестью при высокой температуре, Nimonic™, сплавы Inco™ 718, Haynes™, 230 или другие никелевые сплавы, такие как Mar-M-247.

В соответствии с одним подходом один или оба слоя, выбираемых из внутренней оболочки 215 и внешней оболочки 220, получают в виде отливки, как это описывалось ранее.

В одном подходе внешняя оболочка 220 включает трубную решетку 230, как это проиллюстрировано на фиг. 5. В соответствии с данным подходом внутри внешней оболочки 230 располагают по меньшей мере одну дополнительную внутреннюю оболочку 235, определяя вторую камеру реактора 240. Данным образом во множестве камер реактора 240 может протекать множество реакций пиролиза. В соответствии с данным подходом каждая из внутренних оболочек 235 может включать некоторые или все компоненты, описанные выше в отношении сверхзвукового реактора 5, проиллюстрированного на фиг. 1, или некоторые компоненты отдельных внутренних оболочек 235 могут быть интегрированы. В одном подходе некоторые внутренние оболочки реактора 235 могут быть ориентированы в противоположных направлениях. В данном отношении любая тяга, которая может быть произведена высокоскоростными потоками, протекающими через внутренние оболочки, будет компенсирована обращенными друг к другу противоположающимися внутренними оболочками реактора 235.

В одном подходе внутреннюю оболочку 215 отделяют от внешней оболочки 220 промежутком для получения между ними канала 245, как это проиллюстрировано на фиг. 4. В данном подходе канал 245 может включать зону давления. В зоне давления создают повышенное давление для сохранения давления в ней приблизительно на том же самом уровне, что и давление камеры реактора 15. В данном отношении внутренняя оболочка 215 может быть сконфигурирована таким образом, чтобы ей не пришлось бы выдерживать воздействия большой разности давлений между ее внутренней поверхностью 250 и внешней поверхностью 255. После этого внутренняя оболочка 215 может быть получена из материала, характеризующегося относительно пониженным расчетным давлением и/или имеющего относительно малую толщину стенки. Затем внешняя оболочка 220 может обеспечить получение опорной конструкции, а также исполнить функцию емкости, работающей под давлением, для выдерживания воздействия разности давлений между зоной давления 245 и внешней стороной внешней оболочки 220. В еще одном подходе (не показан) внутренняя оболочка 215 может соединяться встык с внешней оболочкой 220.

В одном подходе канал 245, кроме того, вмещает один или несколько датчиков 216. Датчики могут детектировать или измерять переменную, такую как один или несколько параметров или материалов в канале 245. Примеры датчиков включают датчики давления, датчики температуры, химические датчики, такие как газовые датчики, водородные датчики, углеводородные датчики, метановые датчики и другие датчики. Датчики могут иметь электронное соединение с одной или несколькими системами отображения, мониторинга и/или управления. В одном подходе канал 245, кроме того, вмещает одну или несколько опорных конструкций 217 для создания опоры внутренней оболочке 215 по отношению к внешней оболочке 220.

В соответствии с еще одним подходом, как это проиллюстрировано на фиг. 6, внутри по меньшей мере части оболочки реактора 11 может быть предусмотрен вкладыш 260 для противодействия ухудшению качества части оболочки реактора 11 вследствие воздействия условий эксплуатации в камере реак-

тора 15. Вкладыш 260 может простираться вдоль внутренней поверхности оболочки реактора 11 и может соединяться встык с оболочкой реактора 11 или отделяться от нее промежутком.

В одном подходе вкладыш 260 включает вкладыш однократного применения. Вкладыш однократного применения может содержать углерод в форме углерод/углеродного композита, пиролитического углерода, стекловидного углерода или других форм углерода или высокотемпературный сплав и может быть удален и заменен после возникновения ухудшения качества вкладыша 260. В данном отношении вкладыш однократного применения может защищать оболочку реактора от воздействия жестких условий эксплуатации в камере реактора 15.

В соответствии с еще одним подходом вкладыш 260 включает саморегенерирующийся вкладыш, и он способен регенерироваться во время функционирования сверхзвукового реактора 5 и/или в случае перевода сверхзвукового реактора 5 в автономный режим. В одном подходе саморегенерирующийся вкладыш включает углерод, который катализируют для промотирования образования углерода или кокса вдоль внутренней поверхности оболочки реактора 11 в целях регенерирования углеродного вкладыша. В еще одном подходе саморегенерирующийся вкладыш включает саморегенерирующуюся облицовку, имеющую графитовый слой кокса. В еще одном подходе саморегенерирующийся вкладыш включает облицовку, имеющую наноструктурированный слой кокса. В еще одном другом подходе саморегенерирующийся вкладыш включает облицовку с наноструктурированным слоем графена. В одном подходе саморегенерирующийся вкладыш включает направленную теплопроводность для быстрого отвода тепла от камеры реакции 15 во время функционирования.

В одном подходе вкладыш 260 включает покрытие, характеризующееся низкой теплопроводностью, которое функционирует, обеспечивая защиту для используемых металлических сплавов и замедление теплопередачи. В еще одном подходе вкладыш может быть захваченным при зонной плавке вкладышем, полученным из материалов, характеризующихся высокой температуростойкостью и низкой теплопроводностью.

Такой вкладыш будет уменьшать теплопередачу и эрозию. Захваченный при зонной плавке вкладыш может быть получен в результате вакуумно-плазменного напыления HfC или рения на подходящую для использования оправку, подвергнутую обработке на металлорежущем станке в соответствии с размерами окончательной формы требуемого внешнего диаметра вкладыша. За напыляемым покрытием из HfC или рения будет следовать вольфрамовый структурный слой, способный создавать опору для структуры при необходимых температурах. За вольфрамовым слоем будут следовать молибден и возможно еще раз вольфрам и/или никелевый, кобальтовый, хромовый, алюминиевый, иттриевый структурный слой. Все слои будут наноситься при использовании вакуумно-плазменного напыления и будут оставаться обособленными после химического травления внутреннего диаметра оправки.

В одном подходе одна или несколько частей оболочки реактора 11 включают активное охлаждение для рассеивания тепла от камеры реактора 15 и ограничения плавления или другого ухудшения качества оболочки реактора 11 вследствие воздействия высоких температур и других условий эксплуатации. В одном подходе активное охлаждение включает систему активного охлаждения. Как это проиллюстрировано на фиг. 7, поперечное сечение части оболочки реактора 11 иллюстрируется при демонстрации системы активного охлаждения, которая включает множество охлаждающих пропускных каналов 300, образованных в оболочке реактора 11 для течения хладагента вдоль по оболочке реактора 11 в целях отвода от нее тепла. Система активного охлаждения также может включать источник хладагента для получения имеющего повышенное давление хладагента, проходящего через охлаждающие пропускные каналы 300. Как это проиллюстрировано на фиг. 7, охлаждающие пропускные каналы могут простираться в общем случае по окружности вокруг оболочки реактора 11, которая в одном подходе включает в общем случае кольцевую конфигурацию. Также могут присутствовать коллекторные трубы для подачи хладагента к охлаждающим пропускным каналам 300 и от них.

В одном подходе охлаждающие пропускные каналы 300 могут включать один или множество каналов, образованных на поверхности оболочки реактора. В еще одном подходе охлаждающие пропускные каналы 300 могут включать одну или множество из труб или в общем случае пустотелых туннелей, образованных в оболочке реактора 11 для течения через них охлаждающей текучей среды, как в проиллюстрированной форме на фиг. 7. Пропускные каналы 300 могут простираться вдоль по одной или нескольким поверхностям реактора, или они могут быть образованы в стенках оболочки реактора 11, как это проиллюстрировано на фиг. 9. Пропускные каналы 300 могут быть получены с широким спектром ориентации и могут простираться аксиально вдоль по оболочке реактора 11, по окружности вокруг оболочки реактора 11, радиально через оболочку реактора, по спирали вокруг кольцевой оболочки реактора или при других ориентациях, известных на современном уровне техники.

В еще одном другом подходе охлаждающие пропускные каналы 300 могут включать один или несколько промежутков между внутренним и внешним слоями, облицовками или внутренней и внешней оболочками, как это описывалось прежде, в целях получения одного или нескольких охлаждающих каналов, таких как в случае канала 245 фиг. 4. В дополнение к этому, в промежутке между внутренним и внешним слоями, облицовками или оболочками может быть предусмотрен манипулятор для обслуживания потока для направления охлаждающей текучей среды по желательной схеме потока. Как это проил-

лострировано на фиг. 10, в промежутке между внутренним и внешним слоями могут быть использованы выступы 315, такие как штифты, ребра или другие выступы, в целях увеличения площади поверхности для охлаждения. Кроме того, система охлаждения может включать комбинацию из различных типов охлаждающих пропускных каналов 300, как это описывается в настоящем документе. Например, охлаждающие пропускные каналы 300 могут включать охлаждающий канал 300 между слоями 215 и 220 оболочки реактора 11 вдоль по каналам, образованным на поверхности одного слоя, выбираемого из внутреннего слоя 215 и внешнего слоя 220, таким образом, чтобы хладагент, перетекающий через охлаждающие каналы, также проходил бы и через каналы оболочки реактора 245.

Охлаждающие пропускные каналы 300 могут быть получены самыми разнообразными методами. В одном подходе охлаждающие пропускные каналы 300 получают в оболочке реактора в результате проведения обработки на металлорежущем станке. В еще одном подходе могут быть получены частичные пропускные каналы вдоль по поверхности (поверхностям) одного или нескольких из слоев или оболочек описанной выше оболочки реактора 11, и полные пропускные каналы 300 могут быть получены между слоями или оболочками при соединении слоев и/или оболочек друг с другом, как это продемонстрировано на фиг. 10. Схожим образом частичный пропускной канал может быть получен на поверхности стенки или слоя реактора, и поверх частичного пропускного канала могут быть нанесены покрытие или вкладыш для получения полного пропускного канала 300 между стенкой или слоем реактора и покрытием или вкладышем. В еще одном другом подходе покрытие или вкладыш могут быть нанесены с рисунком, определяющим полный или частичный пропускной канал. Такие частичные или полные пропускные каналы могут быть получены, как это описывалось выше, в результате проведения обработки на металлорежущем станке, отливки или во время нанесения конкретных покрытия, слоя или вкладыша или по другому способу. Охлаждающие пропускные каналы 300 также могут быть получены по другим способам, как это в общем случае известно на современном уровне техники. В пропускных каналах могут быть использованы штифты, ребра или другие выступы в целях увеличения площади поверхности для охлаждения. На вкладыш может быть нанесено покрытие, характеризующееся низкой теплопроводностью, при этом покрытие функционирует, обеспечивая защиту для использующихся металлических сплавов и замедление теплопередачи к активному охлаждению и увеличение эффективности. В порядке примера покрытие может представлять собой никелевый или медный сплав, который наносят в результате вакуумно-плазменного напыления на внутреннюю облицовку, сначала начиная со связывающего покрытия, которое обеспечивает адгезию конструкционного металла к материалу, характеризующемуся низкой теплопроводностью. Связывающее покрытие может содержать никель, хром, кобальт, алюминий и/или иттрий с последующими молибденом и вольфрамом и со следующими в заключение HfC или HfO₂.

Стенки, которые определяют охлаждающие пропускные каналы, могут способствовать теплопередаче к циркулирующему хладагенту в результате исполнения функции охлаждающих ребер, а также обеспечивать создание опоры для нагрузок от давления хладагента. В одном подходе толщину стенки горячего газа (части стенки оболочки реактора 11 между хладагентом и горячим газом сжигания) оптимизируют для сведения к минимуму противодействия тепловому потоку через стенки вкладышей и в каналы для хладагента 300 при одновременном получении структурной целостности по отношению к нагрузкам от давления и термическим нагрузкам. В одном подходе толщина стенки горячего газа находится в диапазоне от 0,254 см (0,10 дюйма) до 0,9525 см (0,375 дюйма), а в еще одном примере находится в диапазоне от 0,381 см (0,15 дюйма) до 0,5715 см (0,225 дюйма). В еще одном подходе стенки между охлаждающими проходами оптимизируют в виде ребер для получения низкого термического сопротивления от горячей стенки к хладагенту, а также для сохранения структурной целостности.

В еще одном подходе проходы для хладагента содержат средства улучшения течения для улучшения течения хладагента в целях увеличения коэффициента теплопередачи для хладагента и удельного теплового потока от стенки к хладагенту. В одном подходе средства улучшения течения включают буртики, ориентированные перпендикулярно или при меньшем угле по отношению к направлению течения хладагента в целях возобновления граничного слоя хладагента, что увеличивает коэффициент теплопередачи для хладагента и увеличивает удельный тепловой поток от стенки к хладагенту. Закручивание потока, придаваемое буртиками, расположенными под углом меньшим чем 90°, будет придавать компонент скорости закручивания потока, перемешивая хладагент и приводя к получению большей скорости теплопередачи от стенки к хладагенту.

При сборке оболочки реактора 11 трубы коллектора и сеть каналов для хладагента 300 кооперируются с образованием коллектора для течения хладагента в целях отвода тепла, вырабатываемого во время процесса сжигания в сверхзвуковом реакторе 5, в степени, необходимой для сохранения приемлемой температуры стенки реактора.

В одном подходе охлаждающую текучую среду компримируют до относительно высокого давления таким образом, чтобы хладагент, протекающий через часть оболочки реактора 11, имел бы давление в диапазоне от 350 фунт/дюйм² (изб.) (2413 кПа (изб.)) до 3200 фунт/дюйм² (изб.) (22060 кПа (изб.)), а в еще одном подходе от 1000 фунт/дюйм² (изб.) (6895 кПа (изб.)) до 2000 фунт/дюйм² (изб.) (13790 кПа (изб.)). А в еще одном подходе от 1500 до 1600 фунт/дюйм² (изб.) (от 10340 до 11030 кПа (изб.)). Относительно высокое давление уменьшает сложность циркуляции хладагента в результате избегания прохо-

ждения фазового превращения при использовании, например, воды в качестве охлаждающей текучей среды. Давление, скорость циркуляции и температуру хладагента устанавливают для обеспечения достаточного течения хладагента в целях достаточного отвода части тепла, вырабатываемого в камере реактора 15, для сохранения приемлемой температуры стенки реактора, в частности, во время сжигания потока топлива и сверхзвукового расширения. В одном подходе хладагент характеризуется расходом через пропускные каналы для хладагента в диапазоне от 28000 фунт/ч (12700 кг/ч) до 47000 фунт/ч (21320 кг/ч), а в еще одном примере от 33500 фунт/ч (15200 кг/ч) до приблизительно 80000 фунт/ч (36290 кг/ч). В одном примере хладагент имеет температуру на впускном отверстии в диапазоне от 10°C (50°F) до 121°C (250°F), а в еще одном примере от 29°C (85°F) до 66°C (150°F). В одном примере хладагент имеет температуру на выпускном отверстии в диапазоне от 38°C (100°F) до 371°C (700°F), а в еще одном примере от 121°C (250°F) до 315°C (600°F). Может быть использован широкий ассортимент хладагентов, известных на современном уровне техники. В одном примере хладагент включает воду. В еще одном примере хладагент включает водяной пар, водород или метан и может содержать смесь из текучих сред.

В одном подходе в качестве активного охлаждения может быть использовано инжекционное охлаждение для рассеивания тепла от камеры реактора 15 и ограничения плавления или другого ухудшения качества оболочки реактора 11 вследствие воздействия высоких температур и других условий эксплуатации. Инжекционное охлаждение может использовать газ или жидкость. В одном подходе инжекционное охлаждение может использовать последовательность из инжекционных струй для осуществления высокой теплопередачи. Например, высокоскоростные струи могут быть направлены на охлаждаемую оболочку. При попадании охлаждающей струи в контакт с поверхностью оболочки охлаждающая струя отклоняется во всех направлениях параллельно поверхности оболочки. Струи могут быть скомпонованы по оболочке таким образом, как по случайной схеме или в виде рисунка. Инжекционное охлаждение может включать методики, такие как высокоинжекционные системы, использующие расширение пара для охлаждения горячей стенки, жидкостную инъекцию на стену и газовое эффузионное охлаждение.

В одном подходе в качестве механизма активного охлаждения может быть использована тепловая труба. Тепловые трубы могут проводить вплоть до 250 раз больше тепловой энергии по сравнению с твердым медным проводящим элементом.

В одном подходе, как это проиллюстрировано на фиг. 12, вдоль по внутренней поверхности по меньшей мере части оболочки реактора 11 может быть предусмотрен пленочный барьер 350 для получения, по меньшей мере, частичного барьера для камеры реактора 15. Пленочный барьер 350 может содействовать ограничению ухудшения качества, в том числе плавления, эрозии или коррозии, оболочки реактора 11 вследствие воздействия высоких температур, расходов и других жестких условий в камере реактора 15.

В одном подходе пленочный барьер 350 включает барьер холодной текучей среды. В настоящем изобретении барьер холодной текучей среды относится к температуре барьера текучей среды по отношению к температуре в камере реактора 15. Таким образом, барьер холодной текучей среды может иметь высокую температуру, но быть холодным по отношению к камере реактора 15. В одном примере температура барьера холодной текучей среды находится в диапазоне от 1649°C (3000°F) до 2760°C (5000°F). В еще одном примере температура барьера холодной текучей среды находится в диапазоне от 1982°C (3600°F) до 2538°C (4600°F).

Барьер холодной текучей среды может включать барьер холодного пара в соответствии с одним примером. В еще одном примере барьер холодной текучей среды включает барьер расплавленного металла. В еще одном примере барьер холодной текучей среды включает воду или водяной пар. В еще одном подходе барьер холодной текучей среды включает воздух или водород. В еще одном другом примере барьер холодной текучей среды включает метан. Барьер холодной текучей среды также может включать и другие текучие среды, известные на современном уровне техники, или комбинацию из текучих сред. В соответствии с одним подходом барьер холодной текучей среды включает текучую среду, которая содержит по меньшей мере часть технологического потока.

Пленочный барьер поверх внутренней поверхности части оболочки реактора 11 может быть получен по различным способам. Что касается фиг. 13, то в одном подходе оболочка реактора 11 включает отверстия 360 через по меньшей мере часть себя для обеспечения прохождения холодной текучей среды через себя и получения барьера холодной текучей среды. Они могут иметь форму щелей, которые производят выпуск в стержневой поток. В еще одном подходе оболочка реактора 11 может включать пористую стенку 365, которая облегчает просачивание через нее холодной текучей среды для получения барьера текучей среды. В соответствии с одним подходом оболочка реактора может включать пропускные каналы (не показаны), подобные тем, которые описывались выше в отношении системы активного охлаждения, и через них может быть подана холодная текучая среда для получения барьера холодной текучей среды. В данном подходе для введения холодной текучей среды через пропускные каналы и отверстия может быть предусмотрен коллекторный трубопровод. В еще одном подходе оболочка реактора 11 может включать внутреннюю оболочку 215 и внешнюю оболочку 220, как это описывалось прежде, и внутренняя оболочка 215 может включать отверстия или содержать пористую стенку по меньшей мере на части внутренней оболочки 215. В данном подходе холодная текучая среда может быть перепущена че-

рез канал или пропускные каналы, определенные между внешней оболочкой 220 и внутренней оболочкой 215, таким образом, чтобы просачивание через внутреннюю оболочку с пористой стенкой 215 формировало бы барьер холодной текучей среды поверх внутренней поверхности части внутренней оболочки 215. Подобным образом там, где внутри оболочки реактора 11 предусматривают вкладыш 260, как это описывалось выше в отношении фиг. 6, вкладыш может быть пористым или проницаемым вкладышем для обеспечения прохождения холодной текучей среды через вкладыш и получения барьера холодной текучей среды на его внутренней поверхности. Пленочный барьер также может быть получен вдоль по внутренней поверхности части оболочки реактора 11 по другим способам, в том числе тем, которые известны на современном уровне техники.

В еще одном подходе стенка может содержать множество маленьких отверстий 360, которые производят выпуск текучей среды в пленку, формируя поверхность с пленочным охлаждением при полном покрытии.

В еще одном подходе стенка может включать щели или прорези, на которые подают хладагент, и которые формируют охлаждающую пленку в результате выпуска хладагента вдоль по стенке в направлении ниже по ходу технологического потока.

Пленочный барьер 350 также может быть получен вдоль по внутренней поверхности части оболочки реактора 11 по другим способам, в том числе тем, которые известны на современном уровне техники.

В еще одном подходе инъекционный способ может быть объединен со способом пленочного охлаждения при полном покрытии, где текучую среду инъекции после соударения с горячей стенкой выпускают через отверстия пленочного охлаждения 360 в такой стенке 365, получая два эффекта охлаждения.

Данным образом в результате получения пленочного барьера 350 поверх внутренней поверхности по меньшей мере части оболочки реактора 11 может быть ограничено ухудшение качества оболочки реактора 11 во время функционирования сверхзвукового реактора 5. Пленочный барьер может уменьшить температуру, воздействию которой подвергается оболочка реактора 11 во время функционирования, в результате получения барьера для горячей стержневой текучей среды и конвективного охлаждения стенки при наличии у пленки температуры пленочного охлаждения.

Система охлаждения может включать различные описанные выше механизмы для получения оптимальной комбинации в целях достижения наивысшей эффективности эксплуатации.

Предшествующее описание предусматривает несколько подходов в отношении оболочки реактора 11 или части оболочки реактора 11. Таким образом, необходимо понимать, что по меньшей мере часть оболочки реактора 11 может относиться ко всей оболочке реактора 11, или она может относиться к меньшей, чем вся оболочка реактора, части, как это теперь будет описано более подробно. Как таковое, предшествующее описание способов улучшения конструкции и/или эксплуатации по меньшей мере части оболочки реактора 11 может относиться в общем случае к любой части оболочки реактора и/или может относиться к следующим далее конкретно описанным частям оболочки реактора.

Как было установлено, определенные части или компоненты оболочки реактора 11 могут сталкиваться с воздействием особенно жестких условий эксплуатации или специфических проблем, которые свойственны данным части или компоненту. Таким образом, в соответствии с различными подходами определенные аспекты предыдущего описания могут относиться только к тем частям или компонентам, где была идентифицирована конкретная проблема. Местоположения вокруг инжектора (инжекторов) топлива 30 и инжектора (инжекторов) исходного сырья 45 представляют собой примеры местоположений, которые могут извлекать пользу из локальных пленочных барьеров или пленочного охлаждения или инъекции или локально расположенных проходов конвективного охлаждения.

Одной зоной сверхзвукового реактора 5, которая сталкивается с воздействием в особенности жестких условий эксплуатации во время ее функционирования, является зона сжигания 25. В зоне сжигания 25 поток топлива сжигают в присутствии кислорода для создания потока высокотемпературного носителя. Температуры в зоне сжигания 25 могут быть наивысшими температурами, имеющимися в камере реактора 15, и могут достигать температур в диапазоне от 2000 до 3500°C в одном примере и от 2000 до 3200°C в еще одном примере. Таким образом, одна конкретная проблема, которая была выявлена в зоне сжигания 25, заключается в плавлении оболочки реактора 11 в зоне сжигания 25 и окислении стенок топочной камеры в присутствии кислорода. Часть оболочки реактора в зоне сжигания 25 может быть отнесена к камере сжигания 26.

Еще одна зона сверхзвукового реактора 5, которая сталкивается с воздействием в особенности жестких условий эксплуатации, включает зону сверхзвукового расширения 60 и в особенности сопло сверхзвукового экспандера 50, расположенное в ней. Более конкретно, вследствие прохождения высокотемпературного газообразного носителя через сопло экспандера 50 при скоростях, близких к сверхзвуковым или равных им, сопло экспандера 50 и/или другие части зоны сверхзвукового расширения 60 могут быть в особенности подверженными воздействию эрозии.

Схожим образом, с воздействием жестких условий эксплуатации во время функционирования сверхзвукового реактора 5 могут сталкиваться и другие части сверхзвукового реактора, в том числе зона диффузора 60, зона смешения 55, зона реактора 65 и зона гашения. С воздействием подобных проблем и жестких условий эксплуатации также могут сталкиваться и дополнительные оборудование или компо-

ненты, которые используют в сочетании с сверхзвуковым реактором 5, включая нижеследующее, но не ограничиваясь только этим: сопла, технологические линии, смесители и теплообменники.

Вследствие уникальности проблем и условий эксплуатации, воздействию которых могут подвергаться отдельные части или компоненты сверхзвукового реактора, данные отдельные части или компоненты могут получаться, эксплуатироваться или использоваться в соответствии с различными подходами, описанными в настоящем документе, в то время как другие части или компоненты получают, эксплуатируются или используются в соответствии с другими подходами, которые могут быть, а могут и не быть описаны в настоящем документе.

Поскольку различные компоненты или части сверхзвукового реактора 5 могут получаться или эксплуатироваться различным образом, сверхзвуковой реактор 5, включая оболочку реактора 11, может быть изготовлен в виде отдельных деталей и собран с образованием сверхзвукового реактора 5 или оболочки реактора 11. В данном отношении сверхзвуковой реактор 5 и/или оболочка реактора 11 могут включать модульную конфигурацию, где отдельные модули или компоненты 400 могут быть собраны друг с другом, как это продемонстрировано на фиг. 11. В соответствии с одним подходом, по меньшей мере, некоторые части или компоненты 400 собранных сверхзвукового реактора или оболочки реактора 11 могут не присоединяться друг к другу, вместо этого газы или текучие среды в них могут удерживаться при использовании регулирования разности давлений между компонентами. В других подходах модули или компоненты 400 могут быть соединены друг с другом, например, при использовании фланцев 405, герметизированных в охлажденных местоположениях межфазной поверхности между компонентами. Аналогичным образом различные компоненты, части или модули 400 могут включать различные аспекты, предусмотренные в представленном выше описании. Например, некоторые модули или компоненты 400 могут включать активное охлаждение, пленочный барьер, внутренний и внешний слои, внутреннюю и внешнюю оболочки или другие описанные выше аспекты, в то время как другие части, модули или компоненты 400 могут включать другие аспекты.

В соответствии с одним подходом один или несколько компонентов или модулей 400 могут быть удалены и заменены во время функционирования сверхзвукового реактора 5 или во время его технологического простоя. Например, поскольку сопло сверхзвукового расширения 50 может подвергаться ухудшению качества быстрее, чем другие компоненты реактора, сопло 50 может быть удаляемым, так чтобы его можно было бы заменить на новое сопло при ухудшении его качества. В одном подходе может быть предусмотрено множество сверхзвуковых реакторов 5 в параллельной или последовательной установке с одним или несколькими функционирующими сверхзвуковыми реакторами и одним или несколькими сверхзвуковыми реакторами, находящимися в ненагруженном резерве, так что в случае возникновения потребности в проведении технического обслуживания или замены одного или нескольких компонентов функционирующего сверхзвукового реактора 5 способ может быть переключен на сверхзвуковой реактор, находящийся в ненагруженном резерве, для продолжения функционирования.

Кроме того, сверхзвуковые реакторы могут ориентироваться горизонтально, как это проиллюстрировано на фиг. 1, или вертикально (не показано). Там, где реактор конфигурируют вертикально, течение потоков носителя и исходного сырья через него может быть вертикальным снизу вверх в одном подходе. Течение потоков носителя и исходного сырья может быть вертикальным сверху вниз в еще одном подходе. В одном подходе сверхзвуковой реактор может быть ориентирован таким образом, чтобы он был бы свободно-дренируемым для предотвращения накапливания жидкости в зоне гашения 72. В еще одном подходе реактор может быть ориентирован вертикально (90° от горизонтали) или горизонтально (0° от горизонтали), как это было указано выше, или может быть ориентирован под углом в диапазоне от 0 до 90° при расположении впускного отверстия реактора на отметке, по высоте превышающей отметку выпускного отверстия реактора. В еще одном варианте осуществления выпускное отверстие 80 может включать два и более выпускных отверстия, в том числе первичное выпускное отверстие 80 для основного течения паровой фазы и вторичное выпускное отверстие 81 для дренирования жидкости. В одном подходе жидкость нагнетают в зону гашения 72 и полностью не испаряют. Это может происходить во время переходного или стационарного режима функционирования. Вторичное выпускное отверстие может функционировать непрерывно или периодически по мере надобности.

В одном подходе оболочка реактора 11 герметизируется на одном краю и включает камеру повышенного давления на краю, противоположном ему.

В соответствии с одним подходом оболочка реактора 11 может включать устройство для стравливания давления 218, как это проиллюстрировано на фиг. 4. В одном подходе устройство для стравливания давления 218 включает разрывной диск. В еще одном подходе устройство для стравливания давления 218 включает разгрузочный клапан.

В одном подходе, как это продемонстрировано на фиг. 14, сверхзвуковой реактор 5 может включать изолирующий клапан 450 на своем впускном отверстии. Сверхзвуковой реактор также может включать систему управления 455 для детектирования изменения давления в случае неконтролируемого выброса. Система управления 455 может быть сконфигурирована для изолирования впускного отверстия в ответ на это. В одном подходе впускным отверстием является впускное отверстие для потока топлива 4.

В соответствии с одним подходом сверхзвуковой реактор 5 включает магнитное удержание для

удерживания реагентов в камере реакции 15.

В соответствии с еще одним подходом сверхзвуковой реактор 5 может включать генерирование водорода для генерирования водорода из потока отходящего продукта реактора.

В одном примере поток отходящего продукта реактора после пиролиза в сверхзвуковом реакторе 5 характеризуется уменьшенным уровнем содержания метана по сравнению с тем, что имеет место для потока метанового исходного сырья, находясь в диапазоне от 15 до 95 мол.%. В еще одном примере концентрация метана находится в диапазоне от 40 до 90 мол.% и от 45 до 85 мол.% в еще одном примере.

В одном примере выход ацетилена, полученного из метана в подаваемом исходном сырье в сверхзвуковом реакторе, находится в диапазоне от 40 до 95%. В еще одном примере выход ацетилена, полученного из метана в потоке исходного сырья, находится в диапазоне от 50 до 90%. В выгодном случае это обеспечивает получение лучшего выхода по сравнению с оцениваемым 40%-ным выходом, достигаемым в прежних более традиционных подходах к пиролизу.

В соответствии с одним подходом поток отходящего продукта реактора вводят в реакцию для получения другого углеводородного соединения. В связи с этим часть отходящего продукта реактора углеводородного потока может быть пропущена из выпускного отверстия реактора в находящийся ниже по ходу технологического потока процесс конверсии углеводородов для дальнейшей переработки потока. Хотя следует понимать, что поток отходящего продукта реактора может претерпевать воздействие нескольких промежуточных технологических стадий, таких как, например, удаление, адсорбирование и/или абсорбирование воды, для получения концентрированного ацетиленового потока, данные промежуточные стадии не будут описываться подробно в настоящем документе.

Что касается фиг. 2, то поток отходящего продукта реактора, имеющий более высокую концентрацию ацетилена, может быть пропущен в находящуюся ниже по ходу технологического потока зону конверсии углеводородов 100, где ацетилен может быть подвергнут конверсии с образованием другого углеводородного продукта. Зона конверсии углеводородов 100 может включать реактор конверсии углеводородов 105 для конверсии ацетилена с образованием другого углеводородного продукта. Несмотря на то, что фиг. 2 иллюстрирует принципиальную технологическую схему для конверсии по меньшей мере части ацетилена в потоке отходящего продукта с образованием этилена в результате гидрирования в реакторе гидрирования 110, необходимо понимать, что зона конверсии углеводородов 100 может включать широкий ассортимент других способов конверсии углеводородов, вместо реактора гидрирования 110 или в дополнение к нему, или комбинацию из различных способов конверсии углеводородов. Аналогичным образом, элементарные операции, проиллюстрированные на фиг. 2, могут быть модифицированы или удалены, и они продемонстрированы для целей иллюстрации и не предназначены для ограничения способов и систем, описанных в настоящем документе. Более конкретно, было установлено, что по ходу технологического потока после сверхзвукового реактора 5 могут находиться несколько других процессов конверсии углеводородов, отличных от тех, которые описывались в прежних подходах, в том числе способов процесса конверсии ацетилена с образованием других углеводородов, включающих нижеследующее, но не ограничивающихся только этим: алкены, алканы, метан, акролеин, акриловая кислота, акрилаты, акриламид, альдегиды, полиацетилены, бензол, толуол, стирол, анилин, циклогексанон, капролактам, пропилен, бутадиен, бутиндиол, бутандиол, C2-C4 углеводородные соединения, этиленгликоль, дизельное топливо, дикислоты, диолы, пирролидины и пирролидоны.

Зона удаления загрязнителя 120 для удаления одного или нескольких загрязнителей из углеводородного или технологического потока может быть расположена в различных местоположениях вдоль углеводородного или технологического потока в зависимости от воздействия конкретного загрязнителя на продукт или способ и от причины удаления загрязнителей, как это дополнительно описывается ниже. Например, как было установлено, некоторые загрязнители создают помехи для функционирования сверхзвукового проточного реактора 5 и/или стимулируют обрастание сверхзвукового проточного реактора 5 различными компонентами. Таким образом, в соответствии с одним подходом зона удаления загрязнителя находится выше по ходу технологического потока от сверхзвукового проточного реактора в целях удаления данных загрязнителей из потока метанового исходного сырья перед введением его в сверхзвуковой реактор. Другие загрязнители, как было установлено, оказывают помехи для находящихся ниже по ходу технологического потока процесса переработки или процесса конверсии углеводородов, и в таком случае зона удаления загрязнителя может находиться выше по ходу технологического потока от сверхзвукового реактора или между сверхзвуковым реактором и конкретной рассматриваемой находящейся ниже по ходу технологического потока стадией переработки. Были идентифицированы и другие загрязнители, которые должны быть удалены для достижения соответствия конкретным техническим требованиям к продукту. В случае желательности удаления нескольких загрязнителей из углеводородного или технологического потока зоны удаления различных загрязнителей могут быть расположены в различных местоположениях вдоль по углеводородному или технологическому потоку. В других подходах зона удаления загрязнителя может перекрываться или быть интегрирована с другим способом, в системе, в случае чего загрязнитель может быть удален во время осуществления другой части способа, включающей нижеследующее, но не ограничивающееся только этим: сверхзвуковой реактор 5 или находящаяся ниже по ходу технологического потока конверсии углеводородов 100. Это может быть осуществле-

но с модифицированием или без модифицирования данных конкретных зон, реакторов или способов. Несмотря на то, что зона удаления загрязнителя 120, проиллюстрированная на фиг. 2, продемонстрирована находящейся ниже по ходу технологического потока от реактора конверсии углеводородов 105, необходимо понимать, что зона удаления загрязнителя 120 в соответствии с настоящим документом может находиться и выше по ходу технологического потока от сверхзвукового проточного реактора 5, между сверхзвуковым проточным реактором 5 и зоной конверсии углеводородов 100 или ниже по ходу технологического потока от зоны конверсии углеводородов 100, как это проиллюстрировано на фиг. 2, или вдоль по другим потокам в пределах технологического потока, таким как, например, поток текучей среды носителя, поток топлива, поток источника кислорода или любые потоки, использующиеся в системах и способах, описанных в настоящем документе.

Хотя здесь были проиллюстрированы и описаны конкретные варианты осуществления и аспекты настоящего изобретения, необходимо понимать, что для специалистов в соответствующей области техники будут очевидны многочисленные возможные изменения и модификации, и прилагаемая формула изобретения, как предполагается, включает все данные изменения и модификации, соответствующие духу и сущности настоящего раскрытия изобретения и прилагаемой формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для получения ацетилена из потока исходного сырья, содержащего метан, включающее

сверхзвуковой реактор для приема потока метанового исходного сырья и нагрева потока метанового исходного сырья до температуры пиролиза;

оболочку реактора сверхзвукового реактора, задающую камеру реактора;

зону сжигания сверхзвукового реактора для сжигания источника топлива в целях получения высокотемпературного газообразного носителя, проходящего через реакторное пространство на сверхзвуковых скоростях в целях нагрева и ускорения потока метанового исходного сырья до температуры пиролиза;

по меньшей мере часть оболочки реактора, выполненную из материала, характеризующегося теплопроводностью в диапазоне от 200 до 500 Вт/м·К, выбранного из группы, состоящей из сплавов меди-хрома, меди-хрома-цинка, меди-хрома-ниобия, меди-никеля и меди-никеля-вольфрама, или из группы, состоящей из алюминия, циркония, ниобия, серебра и их сплавов, для отведения тепла от камеры реактора; и

систему активного охлаждения по меньшей мере части оболочки реактора для охлаждения части оболочки реактора в целях противодействия ее плавлению вследствие воздействия температур эксплуатации;

в котором часть оболочки реактора включает пропускные каналы и в котором хладагент протекает через эти каналы; и

в котором указанные пропускные каналы включают по меньшей мере одно из каналов, сформированных на поверхности части оболочки реактора, и туннелей, сформированных внутри части оболочки реактора.

2. Устройство по п.1, в котором система активного охлаждения включает хладагент, протекающий по меньшей мере по части оболочки реактора.

3. Устройство по п.1, в котором часть оболочки реактора имеет в целом кольцевую конфигурацию, и пропускные каналы являются удлиненными пропускными каналами, простирающимися вдоль оболочки реактора.

4. Устройство по п.3, в котором удлиненные пропускные каналы простираются по спирали вдоль кольцевой оболочки реактора.

5. Устройство по п.1, в котором оболочка реактора включает внутреннюю оболочку и внешнюю оболочку, а пропускные каналы включают зазор между внутренней и внешней оболочками.

6. Устройство по п.1, в котором оболочка реактора включает подложку с нанесенным покрытием, где внешняя часть оболочки реактора обеспечивается подложкой, а внутренняя часть оболочки реактора обеспечивается покрытием и пропускные каналы получены между частью внутреннего покрытия и частью внешней подложки.

7. Устройство по п.1, в котором хладагент компримируют до величины давления в диапазоне от 350 до 3200 фунт/дюйм² (изб.) (от 2413 до 22060 кПа (изб.)).

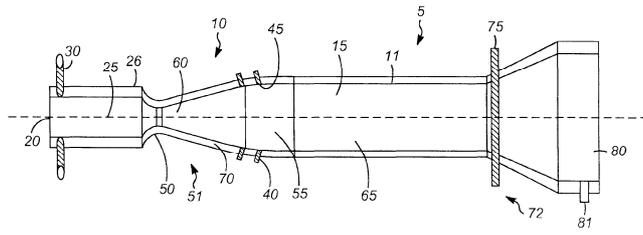
8. Устройство по п.1, в котором хладагент выбран из группы, состоящей из воды, водяного пара, водорода и метана.

9. Устройство по п.1, в котором часть оболочки реактора содержит по меньшей мере одно из меди и медного сплава.

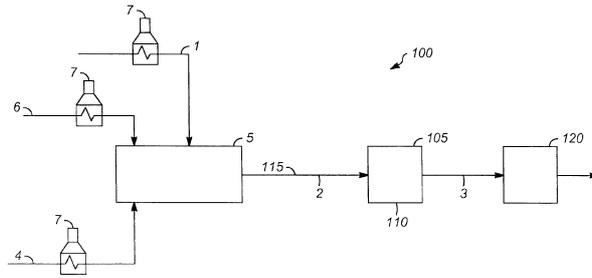
10. Устройство по п.1, в котором система активного охлаждения включает систему инъекционного охлаждения.

11. Устройство по п.1, в котором пропускные каналы дополнительно включают выступы, предна-

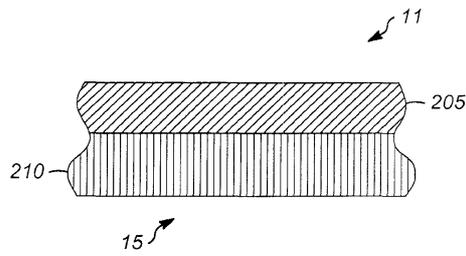
значенные для увеличения площади поверхности для охлаждения.



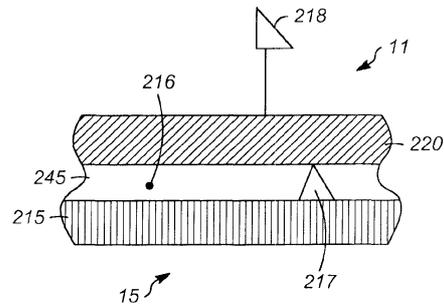
Фиг. 1



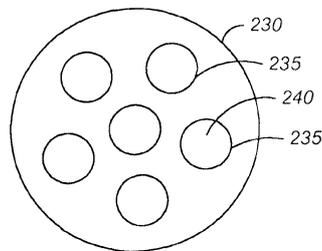
Фиг. 2



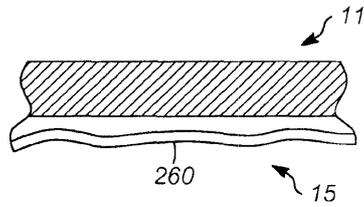
Фиг. 3



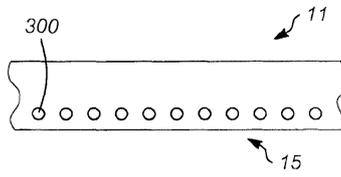
Фиг. 4



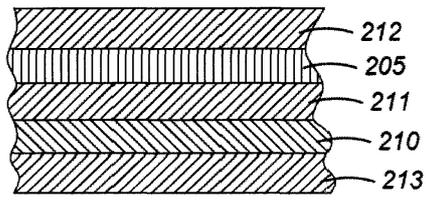
Фиг. 5



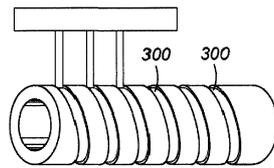
Фиг. 6



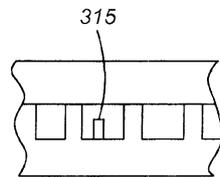
Фиг. 7



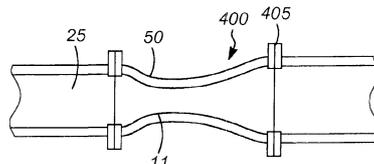
Фиг. 8



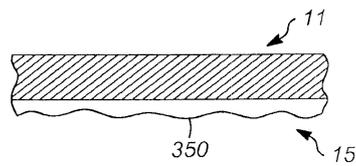
Фиг. 9



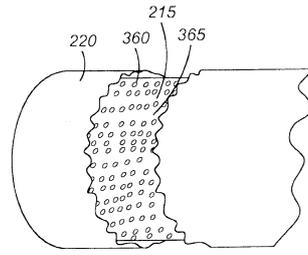
Фиг. 10



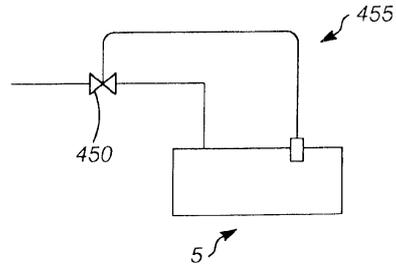
Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14