

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **037424**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.03.26

(21) Номер заявки
201792013

(22) Дата подачи заявки
2016.06.13

(51) Int. Cl. **B01J 3/08** (2006.01)
B01J 19/26 (2006.01)
C07C 2/00 (2006.01)
C07C 11/22 (2006.01)

(54) **ПИРОЛИТИЧЕСКИЙ РЕАКТОР И СПОСОБ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

(31) **62/183,310**

(32) **2015.06.23**

(33) **US**

(43) **2018.01.31**

(86) **PCT/US2016/037145**

(87) **WO 2016/209648 2016.12.29**

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

(72) Изобретатель:
**Гаттупалли Раджесвар Р., Кучана
Винаендер, Леонард Лаура Е.,
Коллати Вигхнесвара Р., Саттар Азиз,
Мостофи-Аштиани Мохаммад Р.,
Шейф Питер (US)**

(74) Представитель:
Чекалкин А.Ю., Фелицына С.Б. (RU)

(56) **US-A1-20140058179
US-A-4724272
EP-A1-1413354**

(57) Описаны способы и устройства для получения алкинов. Способ включает сгорание топлива и окислителя в зоне сгорания с образованием потока несущего газа, который ускоряется до сверхзвуковой скорости в зоне расширения. Сырьевой материал инжектируют в зону инжекции сырья с помощью двух или более множеств инжекционных форсунок. Инжекционные форсунки расположены кольцеобразно. Поток несущего газа переходит от сверхзвуковой скорости к дозвуковой скорости с образованием ударной волны в реакционной зоне. Реакционная зона непосредственно соединена с зоной инжекции сырья, и ударная волна образуется рядом с зоной инжекции сырья. Поток несущего газа и сырьевой материал одновременно смешиваются и вступают в реакцию.

B1

037424

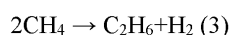
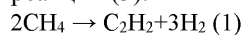
037424

B1

Данная заявка испрашивает приоритет на основании предварительной патентной заявки США № 62/183310, поданной 23 июня 2015 года, полное содержание которой включено в настоящий документ посредством ссылки.

Уровень техники

Способы термической обработки обычно используются для превращения сырьевого углеводородного материала в более ценные продукты. Например, различные способы термической обработки используются для превращения метана непосредственно в C_2 углеводороды, такие как ацетилен - по реакции (1), этилен - по реакции (2) и этан - по реакции (3).



Эти реакции являются в высокой степени эндотермическими, требующими соответственно 377 кДж/моль, 202 кДж/моль и 65 кДж/моль энергии. Кроме того, повышенные температуры обычно требуются для достижения высокой конверсии сырья и высокой селективности в отношении целевого продукта.

Один из типов термической обработки, используемой в известном уровне техники, включает воздействие на сырье высокотемпературных газообразных продуктов сгорания для осуществления пиролиза сырья в желаемый ненасыщенный продукт. Многие традиционные способы включают паровой крекинг. Другие способы включают сгорание для создания необходимой температуры.

Образование ацетилена из метана с помощью термической обработки затруднено из-за относительных свободных энергий образования метана и ацетилена. Ацетилен и этилен могут продолжать реагировать с образованием высших диенов и алкинов, таких как моновинилацетилен, и ароматических и полиароматических соединений, которые могут образовывать нежелательную смолу и сажу. Свыше 800 К соединения C_xH_y могут подвергаться разложению на углерод и водород. Ниже 1500 К свободная энергия образования метана выше, чем у ацетилена. В связи с этим, образование метана, конечного продукта термодинамического равновесия, имеет преимущество над образованием ацетилена при температурах от 800 К до 1500 К. Однако выше 1500 К свободная энергия образования ацетилена ниже, чем у метана. В результате, образование ацетилена будет иметь преимущество над образованием метана. Однако по мере того, как реагенты охлаждаются до температуры ниже 1500 К, термодинамическое равновесие сдвигается обратно к метану, и ацетилен, полученный при более высокой температуре, будет разлагаться и преобразовываться в метан. Ацетилен и другие углеводороды могут продолжать реагировать с образованием ароматических и полиароматических соединений. Если присутствуют вода и диоксид углерода, ацетилен может реагировать с образованием монооксида углерода, который является менее ценным продуктом, чем ацетилен. Пиролитическая реакция метана с образованием ацетилена и других желательных углеводородов имеет высокую энергию активации, в то время как реакции разложения ацетилена имеют более низкую энергию активации. Таким образом, образованию ацетилена благоприятствует проведение реакции при высоких температурах, но с коротким регулируемым временем пребывания, которое сводит к минимуму последующие реакции ацетилена с дополнительным ацетиленом, углеводородами и кислородсодержащими соединениями, такими как H_2O , CO_2 и CO .

Некоторые способы известного уровня техники включают сжигание топливной смеси для образования высокотемпературного сверхзвукового несущего потока. Топливо и окислитель подвергаются сжиганию для получения горячего газового потока с давлением, превышающем атмосферное, и сверхзвуковой скоростью. Сырье инжектируют в сверхзвуковой горячий газовый поток, чтобы инициировать эндотермические реакции пиролиза.

Однако эти способы известного уровня техники используют турбулентность потока для смешивания сырья с несущим потоком. Повышение однородности состава и повышение равномерности температуры в потоке во время образования ацетилена будут приводить к повышению конверсии и селективности в отношении целевого продукта. В способах известного уровня техники сырье инжектируется равномерно через единственный ряд одинаковых инжекторов вдоль стенки реактора и при температуре, отличающейся от температуры несущего потока. Это создает неоднородное распределение потока высококонцентрированного низкотемпературного сырья вдоль высокотемпературного несущего потока. В связи с этим, реакторы известного уровня техники включали в себя зону смешивания достаточной длины, чтобы позволить турбулентному потоку смешивать исходное сырье с несущим потоком.

В публикации US 2014/0058179 описан пиролитический реактор, содержащий зону инжекции топлива, зону сгорания, примыкающую к зоне инжекции топлива, зону расширения, примыкающую к зоне сгорания, зону инжекции сырья, содержащую множество инжекционных форсунок и расположенную рядом с зоной расширения, зону смешивания, выполненную с возможностью смешивания несущего потока и сырьевого материала и расположенную рядом с зоной инжекции сырья, и реакционную зону, примыкающую к зоне смешивания. Множество инжекционных форсунок радиально распределено в первой сборке, образующей первую плоскость, расположенную в поперечном направлении к зоне инжекции сырья, и во второй сборке, расположенной в поперечном направлении к зоне инжекции сырья. Зона сме-

шивания необходима, чтобы гарантировать, что объединенные несущий и сырьевой потоки являются полностью смешанными. Наличие этой зоны смешивания будет увеличивать время пребывания в реакторе и приводить к образованию менее желательных продуктов.

Соответственно, существует потребность в усовершенствованном пиролизном реакторе, имеющем высокую конверсию и селективность в отношении целевого продукта.

Раскрытие изобретения

Один аспект изобретения представляет собой способ получения алкинов. В одном варианте осуществления способ включает в себя введение топлива и окислителя в зону инъекции топлива; сжигание топлива и окислителя в зоне сгорания с образованием потока несущего газа; и ускорение потока несущего газа до сверхзвуковой скорости в зоне расширения. Сырьевой материал инжектируют в зону инъекции сырья с помощью, по меньшей мере, первого множества инжекционных форсунок и второго множества инжекционных форсунок, причем первое множество инжекционных форсунок расположено кольцеобразно в первой поперечной плоскости зоны инъекции сырья, а второе множество инжекционных форсунок расположено кольцеобразно во второй поперечной плоскости зоны инъекции сырья. Поток несущего газа переходит от сверхзвуковой скорости к дозвуковой скорости с образованием ударной волны в реакционной зоне, причем реакционная зона непосредственно соединена с зоной инъекции сырья, и ударная волна образуется рядом с зоной инъекции сырья. Поток несущего газа и сырьевой материал одновременно смешиваются и вступают в реакцию, и ударная волна способствует смешиванию потока несущего газа и сырьевого материала.

Другим аспектом настоящего изобретения является пиролизный реактор. В одном варианте осуществления пиролизный реактор содержит зону инъекции топлива; зону сгорания, примыкающую к зоне инъекции топлива; зону расширения, примыкающую к зоне сгорания; зону инъекции сырья, примыкающую к зоне расширения, причем зона инъекции сырья содержит по меньшей мере первое множество инжекционных форсунок и второе множество инжекционных форсунок, причем первое множество инжекционных форсунок расположено кольцеобразно в первой поперечной плоскости зоны инъекции сырья, а второе множество инжекционных форсунок расположено кольцеобразно во второй поперечной плоскости зоны инъекции сырья; и реакционную зону, непосредственно соединенную с зоной инъекции сырья.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 представлен вид в продольном разрезе пиролизного реактора, имеющего множество точек инъекции сырья, расположенных в двух множествах.

На фиг. 2 представлен вид в продольном разрезе пиролизного реактора, имеющего множество точек инъекции сырья, расположенных в двух множествах, иллюстрирующий инжекционные форсунки.

Осуществление изобретения

Устройство и способ в соответствии с изобретением предусматривают пиролизный реактор, способный инжектировать сырье в несущий поток таким образом, который исключает зону смешивания. Было обнаружено, что ударная волна в реакционной зоне способствует смешиванию сырья с несущим газом, тем самым исключая необходимость в зоне смешивания. Местоположение ударной волны можно регулировать путем изменения давления на выходе из реактора. Смешивание и пиролиз осуществляются одновременно в реакционной зоне, которая непосредственно соединена с зоной инъекции, что приводит к более высокой конверсии и селективности в отношении целевого продукта.

Для достижения достаточно хорошего производства ацетилена с помощью термической обработки реакционную смесь сначала нагревают до температуры, превышающей 1500 К, чтобы способствовать образованию ацетилена. Затем обеспечивают энтальпию реакции, достаточную для удовлетворения потребности в 377 кДж/моль, что необходимо для образования ацетилена. Если дополнительная энергия не обеспечивается, эндотермический характер образования ацетилена может приводить к температуре ниже 1500 К. И, наконец, реакционную смесь быстро охлаждают со скоростью, превышающей скорость, при которой ацетилен может разлагаться на более тяжелые углеводороды, такие как моновинилацетилен, ароматические и полиароматические соединения, смолу и сажу. Этот процесс быстрого охлаждения иногда называют "замораживанием" реакции, когда количество ацетилена является высоким. Желательно инициировать стадию замораживания в условиях, близких к максимальному образованию ацетилена, (т.е. в точке, где скорость образования ацетилена из метана уравнивает разложение ацетилена до СО и более тяжелых углеводородов), и как можно быстрее завершать стадию замораживания, чтобы предотвратить любое разложение ацетилена.

Хотя настоящее изобретение описано в контексте пиролизного превращения метанового сырья в ацетилен, специалистам в данной области будет понятно, что устройство и способы, описанные в настоящем документе, могут использоваться и с другими сырьевыми материалами для образования других продуктов. Например, в одном варианте осуществления конструкция реактора и способ в соответствии с изобретением могут использоваться для превращения метана в другие высокомолекулярные углеводороды (отличные от ацетилена), такие как этан, этилен или углеводороды с более высокой молекулярной массой (например, $C_{2+x}H_y$). В целом, конструкция реактора и способ в соответствии с изобретением могут использоваться, чтобы облегчить любую эндотермическую реакцию, которая также требует высокой

температуры для осуществления, например, без ограничения, паровой риформинг углеводородов, каталитический крекинг нефти и дегидрирование в легкие олефины, такие как пропилен и этилен.

На фиг. 1 представлен вид в продольном разрезе пиролизического реактора 100. В одном варианте осуществления реактор 100 является трубчатым (т.е. его поперечное сечение является круглым). Высокие температуры, необходимые для образования ацетилена, а также регулируемое время пребывания и быстрое гашение, могут быть достигнуты в пиролизическом реакторе 100. Топливо 102 и окислитель 106 инжектируют в зону 108 инъекции топлива на проксимальном конце реактора 100. В одном варианте осуществления топливо содержит водород (H_2), окислитель содержит кислород, и молярное отношение водорода к кислороду составляет 3/1.

В некоторых вариантах осуществления топливо 102 и окислитель 106 смешивают перед вводом в зону 108 инъекции топлива. В некоторых вариантах осуществления топливо 102 и окислитель 106 вводятся в зону 108 инъекции топлива и смешиваются за счет турбулентности внутри зоны 108 инъекции топлива. В некоторых вариантах осуществления разбавитель 104, такой как водяной пар и/или инертный газ, также вводится в зону инъекции топлива. В некоторых вариантах осуществления разбавитель добавляется в количестве менее 50 массовых процентов (50 мас.%). В некоторых вариантах осуществления зона инъекции топлива также оснащена дополнительным инжектором для введения разбавителя в зону инъекции топлива.

Топливо и окислитель сгорают в зоне 110 сгорания. Теплота сгорания нагревает несущий газ до высокой температуры. В некоторых вариантах осуществления температура несущего газа достигает 2500 К в зоне 110 сгорания. В других вариантах осуществления температура несущего газа достигает 3000 К в зоне 110 сгорания. В еще одних вариантах осуществления температура несущего газа достигает 3600 К в зоне 110 сгорания.

Зона 110 сгорания работает при давлении, которое выше, чем в реакционной зоне, которое выталкивает несущий газ в направлении к дистальному концу реактора 100 с высокой скоростью. В некоторых вариантах осуществления скорость несущего газа в дистальном конце зоны 110 сгорания оказывается ниже сверхзвуковой скорости (т.е. менее 1 Мах).

В альтернативном варианте осуществления зона инъекции сырья может иметь кольцевое поперечное сечение. Зона инъекции топлива, зона сгорания, зона расширения и реакционная зона могут, в качестве альтернативы, быть или кольцевыми или круглыми. Использование кольцевой зоны инъекции сырья уменьшает расстояние в поперечном направлении, на которое сырье должно инжектироваться в несущий поток. Внутреннее кольцевое пространство также может быть оборудовано аналогичными форсунками для инъекции сырья и может удерживаться на месте с помощью стоек или закреплено на входе или выходе из реактора. Стойки могут иметь внутренние каналы для обеспечения потока сырья или хладагента. В некоторых вариантах осуществления зона инъекции сырья может иметь другие некруглые поперечные сечения, которые уменьшают расстояние в поперечном направлении, на которое сырье должно проникать в несущий поток, например, прямоугольные или эллиптические. Для случая зоны инъекции сырья с некруглым поперечным сечением под диаметром трубы следует понимать гидравлический диаметр зоны инъекции сырья.

Дозвуковой несущий газ входит в зону 112 расширения и течет через конвергентно-дивергентное сопло 134. Конвергентно-дивергентное сопло 134 преобразует часть тепловой энергии в несущем потоке в кинетическую энергию, что приводит к резкому увеличению скорости несущего потока. Скорость несущего газа переходит из дозвуковой (т.е. менее 1 Мах) в сверхзвуковую (т.е. более 1 Мах) в зоне 112 расширения. В одном варианте осуществления на дистальном конце зоны 112 расширения температура несущего газа составляет от 1500 К до 2500 К, и в другом варианте осуществления температура несущего газа составляет менее 3000 К. В одном варианте осуществления средняя скорость несущего газа (в поперечном сечении) превышает 1 Мах. В одном варианте осуществления средняя скорость несущего газа составляет 2 Мах или более. В одном варианте осуществления средняя скорость несущего газа составляет 3 Мах или более.

Метановое сырье инжектируется в сверхзвуковой несущий газ в зоне 114 инъекции сырья. В одном варианте осуществления сырье инжектируют при температуре от 700 до 1200 К. В еще одном варианте осуществления сырье инжектируют при температуре от 300 до 2000 К.

Сырье подается с помощью подающих трубопроводов 126 и инжектируется посредством по меньшей мере двух множеств 122, 124 инъекционных форсунок 128 и 130, которые находятся в стенке зоны 114 инъекции сырья. Как показано на фиг. 2, первое множество 122 определяет первую поперечную плоскость 123 через реактор 100, а второе множество 124 определяет вторую поперечную плоскость 125 через реактор 100. В некоторых вариантах осуществления имеется более двух множеств инъекционных форсунок, например, по меньшей мере три множества. В некоторых вариантах осуществления разбавитель, такой как водяной пар и/или инертный газ, может инжектироваться с помощью инъекционных форсунок. В некоторых вариантах осуществления разбавитель может инжектироваться с помощью первого множества инъекционных форсунок, тогда как сырье инжектируется с помощью второго множества. В некоторых вариантах осуществления разбавитель и часть сырья инжектируется с помощью первого множества, при этом остальная часть разбавителя инжектируется с помощью второго множества. Если

предусмотрено более двух множеств инжекционных форсунок, разбавитель и сырье инжектируются с помощью одного или двух множеств, а остальная часть сырья может быть разделена среди остальных множеств.

В одном варианте осуществления форсунки 128 и 130 расположены непосредственно в стенке зоны 114 инъекции сырья. В одном варианте осуществления форсунки 128 и 130 установлены в кольцевой конструкции, которая находится на одной линии со стенкой реактора 100, образуя зону 114 инъекции сырья. В одном варианте осуществления форсунки 128 и 130 установлены в эллиптической или другой конструкции, которая находится на одной линии со стенкой реактора 100, образуя зону 114 инъекции сырья.

В одном варианте осуществления первое множество 122 содержит по меньшей мере три (3) форсунки. В некоторых вариантах осуществления, первое множество 122 содержит более трех форсунок, и в других - менее трех форсунок. В некоторых вариантах осуществления форсунки первого множества 122 равномерно расположены по периметру зоны 114 инъекции сырья.

В некоторых вариантах осуществления второе множество 124 содержит по меньшей мере три (3) форсунки, хотя может содержать более или менее трех форсунок. В некоторых вариантах осуществления форсунки второго множества 124 равномерно расположены по периметру зоны 114 инъекции сырья.

Первое и второе множества 122 и 124 могут содержать одинаковое количество инжекционных форсунок, первое множество 122 может содержать большее количество инжекционных форсунок, чем второе множество 124, или второе множество 124 может содержать большее количество форсунок, чем первое множество 122. В некоторых вариантах осуществления количество форсунок в определенном множестве может составлять от 1 до 200.

Первое и второе множества 122 и 124 инжекционных форсунок могут быть расположены в одинаковых кольцевых положениях, или они могут быть смещены друг относительно друга.

Когда имеется по меньшей мере три множества, все множества могут иметь одинаковое количество инжекционных форсунок, или одно или более множеств могут иметь разные количества инжекционных форсунок. Все множества могут быть расположены в одинаковых кольцевых положениях, или одно или более могут находиться в разных кольцевых положениях.

В одном варианте осуществления каждая из форсунок 128 в первом множестве 122 выполнена с возможностью инжектирования сырья в несущий поток на глубину, равную $1/3$ расстояния до осевой линии зоны 114 инъекции сырья (т.е. радиальную глубину, равную $1/3$ расстояния до радиальной средней точки зоны инъекции сырья), и каждая из форсунок 130 во втором множестве 124 выполнена с возможностью инжектирования сырья в несущий поток на радиальную глубину $2/3$. Радиальная глубина проникновения в несущий поток зависит от угла, под которым сырье инжектируется в несущий поток, от скорости потока в каждой форсунке, диаметра форсунки и скорости несущего потока через зону 114 инъекции сырья.

Как будет понятно специалистам в данной области техники, в то время как расположение форсунок описывается как выровненное в поперечных плоскостях (т.е. перпендикулярно продольной оси реактора 100), форсунки могут быть распределены любым другим образом в зоне 114 инъекции сырья для достижения углового распределения (т.е. различных угловых точек при определенной радиальной глубине) и радиального распределения (т.е. различных радиальных глубин в определенной угловой точке) в несущем потоке. Или же форсунки 128 могут быть расположены несимметрично в различных местах в зоне 114 инъекции сырья. Например, вместо того, чтобы быть расположенными в поперечных плоскостях, форсунки 128 могут быть расположены в плоскости, смещенной от перпендикуляра на угол α , как показано на фиг. 2. Инжекционные форсунки 128 и 130 образуют угол α относительно поперечных плоскостей 123, 125, величина которого находится в диапазоне 0 до 90° , или 0 до 80° , или 0 до 70° .

В разных вариантах осуществления инжекционные форсунки 128 и 130 представляют собой сопла, угловые сопла, аэроамповые сопла, рамповые сопла, стоечные сопла, каскадные сопла, ромбические сопла, щелевые отверстия и кольцевые щели или их сочетания.

Радиальная глубина проникновения струи в несущий поток может определяться с помощью ряда способов, известных специалистам в данной области, таких как математические корреляции, компьютерное моделирование динамики текучей среды, экспериментальное измерение концентрации, температуры, плотности. Уравнение 1 представляет собой пример математической корреляции, где a , b , c и d являются положительными константами, M_j является числом Маха струи, d_j представляет собой диаметр горловины инжектора, $(\rho v^2)_j$ является импульсом струи в горловине форсунки, $(\rho v^2)_c$ является импульсом несущего потока, и θ является углом наклона струи относительно расположенной ниже по потоку стенки. Горловина форсунки определяется как часть форсунки, которая имеет минимальную площадь поперечного сечения. Радиальная глубина проникновения струи в несущий поток также зависит от типа инжектора. Например, аэроамповый инжектор (примеры которого описаны в *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 22, No. 5, September-October 2006, pg. 1027-1038, и в документе AIAA 2005 -301 Американского института авиации и космонавтики) может использоваться для обеспечения более глубокого проникновения струи с меньшими потерями давления. Для инжектора, который не является одиночной

круглой форсункой, например, аэроампового инжектора, за диаметр горловины инжектора, d_j , принимается диаметр круга с совокупной площадью горловин отдельных сопел, образующих аэроампу. Например, если аэроампа имеет 5 отдельных сопел с одинаковым диаметром горловины, тогда d_j будет представлять собой квадратный корень 5-кратного диаметра горловины отдельных сопел, образующих аэроамповый инжектор. В одном варианте осуществления аэроамповые сопла используются для сборки сопел, которые рассчитаны на наиболее глубокое проникновение.

$$\frac{y}{d_j} = \alpha \left[\frac{(\rho v^2)_i}{(\rho v^2)_c} \right]^b M_j^c \theta_d \text{ Уравнение (1)}$$

Инжектирование сырья по периметру зоны 114 инжекции сырья и в нескольких поперечных плоскостях 123, 125 приводит к повышенному смешиванию сырья с несущим потоком.

В некоторых вариантах осуществления форсунки в одной сборке могут инжектировать сырье на разную радиальную глубину.

В одном варианте осуществления сырье полностью инжектируется в пределах от 0,5 до 10 диаметров трубы (т.е. внутреннего диаметра зоны инжекции) ниже по потоку от первого места инжекции. Иными словами, на фиг. 1 расстояние между первым множеством 122 (первым местом инжекции выше по потоку) и вторым множеством 124 (последним местом инжекции ниже по потоку) составляет от 0,5 до 10 диаметров трубы. В других вариантах осуществления сырье полностью инжектируется на расстоянии от 0,5 до 6 диаметров трубы ниже по потоку от первого места инжекции, или на расстоянии от 1 до 5 диаметров трубы, или от 2 до 5 диаметров трубы. В еще одних вариантах осуществления сырье полностью инжектируется на расстоянии менее 1 диаметра трубы ниже по потоку от первого места инжекции.

Зона 114 инжекции сырья непосредственно соединяется с реакционной зоной 118, исключая необходимость в зоне смешивания известного уровня техники.

Поперечное сечение реактора 100 увеличивается в реакционной зоне 118 благодаря наклонной стенке 127.

В некоторых вариантах осуществления скорость смешанного потока остается на сверхзвуковом уровне в реакционной зоне 118. Регулирование давления на выходе из реактора поможет создать ударные волны в реакционной зоне, что приведет к снижению скорости несущего потока, преобразуя часть кинетической энергии потока в тепловую энергию. Смесь продуктов затем снижает скорость до уровня дозвукового потока и гасится в зоне 120 гашения/извлечения.

Ударные волны будут способствовать переходу скорости смешанного потока от сверхзвукового до дозвукового уровня в реакционной зоне 118, и местоположение ударной волны можно регулировать путем изменения давления на выходе из реактора. Давление на выходе из реактора может быть отрегулировано для получения ударной волны непосредственно после зоны инжекции, что способствует смешиванию исходного сырья с несущим газом и, тем самым, исключает необходимость в зоне смешивания. Наличие ударной волны приводит к почти мгновенному увеличению статического давления и температуры смешанного потока. В различных вариантах осуществления температура смешанного потока непосредственно выше по потоку от ударной волны составляет от 1500 до 2000 К, в сравнении с 1800-2300 К непосредственно ниже по потоку от ударной волны. Условия в смешанном потоке ниже по потоку от ударной волны благоприятны для образования ацетилена.

В некоторых вариантах осуществления последовательность ударных волн формируется в точке, где скорость потока переходит от сверхзвукового к дозвуковому уровню. Последовательность ударных волн представляет собой серию слабых ударных волн, распространяющихся ниже по потоку от точки перехода от сверхзвуковой до дозвуковой скорости. В то время как единственная ударная волна будет нагревать смесь почти мгновенно (в месте расположения ударной волны), последовательность ударных волн будет нагревать смесь более постепенно. Каждая ударная волна в последовательности ударных волн будет повышать температуру потока.

Температура смешанного потока повышается до величины, достаточной для способствования образованию ацетилена и обеспечения достаточной энергии для осуществления эндотермической реакции.

В одном варианте осуществления поток продукта выходит из реакционной зоны 118 и поступает в зону 120 гашения/извлечения для быстрого охлаждения потока продукта. В одном варианте осуществления зона гашения 120 содержит по меньшей мере одну инжекционную форсунку для распыления воды в поток продукта. Поток продукта извлекают на дистальном конце реактора 10, как показано позицией 132.

В альтернативном варианте осуществления зона инжекции сырья может иметь кольцевое поперечное сечение. Зона инжекции топлива, зона сгорания, зона расширения и реакционная зона могут, в качестве альтернативы, быть или кольцевыми или круглыми. Использование кольцевой зоны инжекции сырья уменьшает расстояние в поперечном направлении, на которое сырье должно инжектироваться в несущий поток. Внутреннее кольцевое пространство также может быть оборудовано аналогичными форсунками для инжекции сырья и может удерживаться на месте с помощью стоек или быть закреплено на входе или выходе из реактора. Стойки могут иметь внутренние каналы для обеспечения потока сырья или хладагента. В некоторых вариантах осуществления зона инжекции сырья может иметь другие не-

круглые поперечные сечения, которые уменьшают расстояние в поперечном направлении, на которое сырье должно проникать в несущий поток, например, прямоугольные или эллиптические. Для случая зоны инъекции сырья с некруглым поперечным сечением под диаметром трубы следует понимать гидравлический диаметр зоны инъекции сырья.

В некоторых вариантах осуществления первое и второе множества инжекционных форсунок могут представлять собой сборки, которые являются отдельными компонентами, расположенными в корпусе реактора 100, или сборки, выполненные как одно целое с корпусом реактора 100. Рабочие характеристики каждой форсунки выполнены с возможностью подачи сырья в целевое местоположение при определенной скорости несущего потока. В некоторых вариантах осуществления глубина проникновения каждой форсунки контролируется и динамически регулируется для поддержания желаемой глубины проникновения.

В некоторых вариантах осуществления целевая радиальная глубина проникновения сырья каждой инжекционной форсунки в множестве инжекционных форсунок отличается от целевой радиальной глубины проникновения сырья всех других инжекционных форсунок в множестве инжекционных форсунок. В некоторых вариантах осуществления диаметр сопла инжекционных форсунок в первой сборке больше, чем диаметр горловины форсунок во второй сборке. В некоторых вариантах осуществления инжекционное давление форсунок в первой сборке больше, чем инжекционное давление форсунок во второй сборке.

В некоторых вариантах осуществления первая плоскость форсунок для инъекции сырья расположена внутри расширяющегося сопла. В некоторых вариантах осуществления вторая плоскость форсунок для инъекции сырья расположена внутри расширяющегося сопла. В некоторых вариантах осуществления третья плоскость форсунок для инъекции сырья расположена внутри расширяющегося сопла.

Настоящее изобретение описано в предпочтительных вариантах осуществления в следующем описании со ссылкой на фигуры, на которых одинаковые номера представляют одинаковые или аналогичные элементы. Ссылки во всем данном описании на "один вариант осуществления", "вариант осуществления" или аналогичные выражения означают, что конкретный признак, структура или характеристика, описанные в связи с вариантом осуществления, включены по меньшей мере в один из вариантов осуществления настоящего изобретения. Соответственно, фразы "в одном варианте осуществления", "в варианте осуществления" и аналогичные выражения, присутствующие во всем данном описании, не обязательно относятся к одному и тому же варианту осуществления.

Конкретные признаки, структуры или характеристики изобретения могут быть объединены любым подходящим образом в одном или более вариантах осуществления.

Конкретные варианты осуществления

Хотя ниже следует описание в связи с конкретными вариантами осуществления, следует понимать, что данное описание предназначено для иллюстрации, а не ограничения объема предшествующего описания и прилагаемой формулы изобретения.

Первый вариант осуществления изобретения представляет собой способ получения алкина, включающий в себя введение топлива и окислителя в зону инъекции топлива; сжигание топлива и окислителя в зоне сгорания с образованием потока несущего газа; ускорение потока несущего газа до сверхзвуковой скорости в зоне расширения; инъекцию сырьевого материала в зону инъекции сырья с помощью по меньшей мере первого множества инжекционных форсунок и второго множества инжекционных форсунок, причем первое множество инжекционных форсунок расположено кольцеобразно в первой поперечной плоскости зоны инъекции сырья, а второе множество инжекционных форсунок расположено кольцеобразно во второй поперечной плоскости зоны инъекции сырья; переход потока несущего газа от сверхзвуковой скорости к дозвуковой скорости с образованием ударной волны в реакционной зоне, причем реакционная зона непосредственно соединена с зоной инъекции сырья, и ударная волна образуется рядом с зоной инъекции сырья; и одновременное смешивание и реакцию потока несущего газа и сырьевого материала, причем ударная волна способствует смешиванию потока несущего газа и сырьевого материала. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие к первому варианту осуществления в данном параграфе, в котором первое множество инжекционных форсунок содержит по меньшей мере три инжекционные форсунки, и второе множество инжекционных форсунок содержит по меньшей мере три инжекционные форсунки. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие к первому варианту осуществления в данном параграфе, в котором первое и второе множества инжекционных форсунок содержат одинаковое количество инжекционных форсунок, и в котором первое и второе множество инжекционных форсунок расположены в одинаковых кольцевых положениях. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие к первому варианту осуществления в данном параграфе, в котором зона инъекции сырья характеризуется диаметром трубы, и первая поперечная плоскость удалена от второй поперечной плоскости на расстояние от 0,5 до 6 диаметров трубы зоны инъекции. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие к первому варианту осуществления в данном параграфе, в котором зона инъекции сырья

содержит третье множество инжекционных форсунок, расположенное кольцеобразно в третьей поперечной плоскости зоны инъекции сырья. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие к первому варианту осуществления в данном параграфе, в котором от 10 до 50 мас.% сырьевого материала вводится в первое множество инжекционных форсунок и от 50 до 90 мас.% сырьевого материала вводится во второе множество инжекционных форсунок. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие к первому варианту осуществления в данном параграфе, дополнительно включающий в себя введение разбавителя в зону инъекции сырья. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие к первому варианту осуществления в данном параграфе, в котором разбавитель вводят с помощью первого множества инжекционных форсунок. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие к первому варианту осуществления в данном параграфе, в котором разбавитель и первую часть сырьевого материала вводят с помощью первого множества инжекционных форсунок, а вторую часть сырьевого материала вводят с помощью второго множества инжекционных форсунок. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие к первому варианту осуществления в данном параграфе, в котором разбавитель вводят с помощью первого множества инжекционных форсунок, а сырьевой материал вводят с помощью второго множества инжекционных форсунок. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие к первому варианту осуществления в данном параграфе, дополнительно включающий в себя снижение скорости потока несущего газа в реакционной зоне для преобразования кинетической энергии в тепловую энергию. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие к первому варианту осуществления в данном параграфе, в котором первое множество инжекционных форсунок имеет угол относительно первой поперечной плоскости в диапазоне от 0° до менее чем 90° , и второе множество инжекционных форсунок имеет угол относительно второй поперечной плоскости в диапазоне от 0 до 90° . Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие к первому варианту осуществления в данном параграфе, в котором угол первого множества инжекционных форсунок отличается от угла второго множества инжекционных форсунок. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие к первому варианту осуществления в данном параграфе, в котором каждая инжекционная форсунка первого и второго множеств инжекционных форсунок выбрана из группы, состоящей из сопел, угловых сопел, аэроамповых сопел, рамповых сопел, стоечных сопел, каскадных сопел, ромбических сопел, щелевых отверстий и кольцевых щелей или их сочетаний.

Второй вариант осуществления изобретения представляет собой пиролизический реактор, содержащий зону инъекции топлива; зону сгорания, примыкающую к зоне инъекции топлива; зону расширения, примыкающую к зоне сгорания; зону инъекции сырья, примыкающую к зоне расширения, причем зона инъекции сырья содержит, по меньшей мере, первое множество инжекционных форсунок и второе множество инжекционных форсунок, причем первое множество инжекционных форсунок расположено кольцеобразно в первой поперечной плоскости зоны инъекции сырья, а второе множество инжекционных форсунок расположено кольцеобразно во второй поперечной плоскости зоны инъекции сырья; и реакционную зону, непосредственно соединенную с зоной инъекции сырья. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие ко второму варианту осуществления в данном параграфе, в котором первое множество инжекционных форсунок содержит по меньшей мере три инжекционные форсунки, и второе множество инжекционных форсунок содержит по меньшей мере три инжекционные форсунки. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие ко второму варианту осуществления в данном параграфе, в котором первое и второе множества инжекционных форсунок содержат одинаковое количество инжекционных форсунок, и в котором первое и второе множества инжекционных форсунок расположены в одинаковых кольцевых положениях. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие ко второму варианту осуществления в данном параграфе, в котором зона инъекции сырья содержит третье множество инжекционных форсунок, расположенное кольцеобразно в третьей поперечной плоскости зоны инъекции сырья. Вариант осуществления изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие ко второму варианту осуществления в данном параграфе, в котором первое множество инжекционных форсунок имеет угол относительно первой поперечной плоскости в диапазоне от 0 до 90° , и второе множество инжекционных форсунок имеет угол относительно второй поперечной плоскости в диапазоне от 0 до 90° . Вариант осуществления

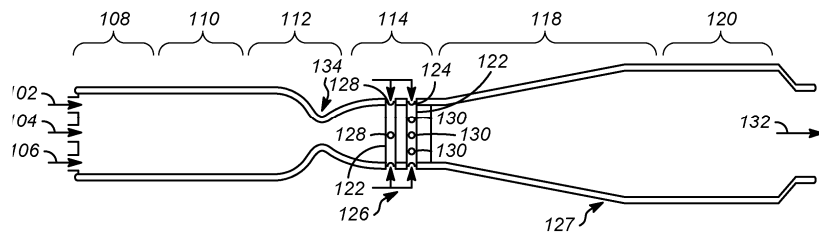
изобретения представляет собой один, какой-либо или все предыдущие варианты осуществления в данном параграфе, восходящие ко второму варианту осуществления в данном параграфе, в котором каждая инжекционная форсунка первого и второго множеств инжекционных форсунок выбрана из группы, состоящей из сопел, угловых сопел, аэроамповых сопел, рамповых сопел, стоечных сопел, щелевых отверстий и кольцевых щелей.

Без дополнительного уточнения считается, что специалист с помощью предшествующего описания сможет использовать настоящее изобретение в его максимальной степени и сможет легко выявить существенные характеристики данного изобретения без отклонения от его сущности и объема, чтобы осуществить различные изменения и модификации изобретения и приспособить его к различным областям применения и условиям. Поэтому приведенные выше предпочтительные конкретные варианты осуществления следует рассматривать только как иллюстративные и не ограничивающие каким бы то ни было образом остальную часть описания, и что это предполагает охват различных модификаций и эквивалентных конфигураций, включенных в объем прилагаемой формулы изобретения.

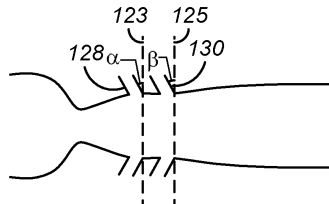
В вышеизложенном все температуры приведены в градусах Цельсия и все части и проценты являются массовыми, если не указано иное.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения алкина, включающий в себя стадии, на которых вводят топливо и окислитель в зону инъекции топлива; осуществляют сжигание топлива и окислителя в зоне сгорания с образованием потока несущего газа; осуществляют ускорение потока несущего газа до сверхзвуковой скорости в зоне расширения в результате протекания потока несущего газа через конвергентно-дивергентное сопло; осуществляют инъекцию сырьевого материала в зону инъекции сырья с помощью, по меньшей мере, первого множества инжекционных форсунок и второго множества инжекционных форсунок, причем первое множество инжекционных форсунок расположено кольцеобразно в первой поперечной плоскости зоны инъекции сырья, а второе множество инжекционных форсунок расположено кольцеобразно во второй поперечной плоскости зоны инъекции сырья; осуществляют переход потока несущего газа от сверхзвуковой скорости к дозвуковой скорости с образованием ударной волны в реакционной зоне, в которой поперечное сечение реактора увеличивается благодаря наклонной стенке, причем реакционная зона непосредственно соединена с зоной инъекции сырья, и давление на выходе из реактора регулируют таким образом, что ударная волна образуется рядом с зоной инъекции сырья; в результате чего происходит одновременное смешивание и реакция потока несущего газа и сырьевого материала с образованием алкина, причем ударная волна способствует смешиванию потока несущего газа и сырьевого материала.
2. Способ по п.1, в котором первое множество инжекционных форсунок содержит по меньшей мере три инжекционные форсунки и второе множество инжекционных форсунок содержит по меньшей мере три инжекционные форсунки.
3. Способ по п.1 или 2, в котором первое и второе множества инжекционных форсунок содержат одинаковое количество инжекционных форсунок и в котором первое и второе множества инжекционных форсунок расположены в одинаковых кольцевых положениях.
4. Способ по п.1 или 2, в котором зона инъекции сырья характеризуется диаметром трубы и первая поперечная плоскость удалена от второй поперечной плоскости на расстояние от 0,5 до 6 диаметров трубы зоны инъекции.
5. Способ по п.1 или 2, в котором зона инъекции сырья содержит третье множество инжекционных форсунок, расположенное кольцеобразно в третьей поперечной плоскости зоны инъекции сырья.
6. Способ по п.1 или 2, в котором от 10 до 50 мас.% сырьевого материала вводят в первое множество инжекционных форсунок и от 50 до 90 мас.% сырьевого материала вводят во второе множество инжекционных форсунок.
7. Способ по п.1 или 2, в котором дополнительно осуществляют введение разбавителя в зону инъекции сырья.
8. Способ по п.1 или 2, в котором дополнительно осуществляют снижение скорости потока несущего газа в реакционной зоне для преобразования кинетической энергии в тепловую энергию.
9. Способ по п.1 или 2, в котором первое множество инжекционных форсунок имеет угол относительно первой поперечной плоскости в диапазоне от 0° до менее чем 90° и второе множество инжекционных форсунок имеет угол относительно второй поперечной плоскости в диапазоне от 0 до 90°.
10. Способ по п.1 или 2, в котором каждая инжекционная форсунка первого и второго множеств инжекционных форсунок выбрана из группы, состоящей из сопел, угловых сопел, аэроамповых сопел, рамповых сопел, стоечных сопел, каскадных сопел, ромбических сопел, щелевых отверстий и кольцевых щелей или их сочетаний.



Фиг. 1



Фиг. 2