(19) Евразийское патентное ведомство

(11) 015204 (13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента: **2011.06.30**

(21) Номер заявки: **200801953**

(22) Дата подачи: **2007.03.29**

(51) Int. Cl. ***B01J 19/00*** (2006.01)

(54) МИКРОРЕАКТОР

(31) **06006939.0; 06009574.2**
(32) **2006.03.31; 2006.05.09**
(33) **EP**
(43) **2009.04.28**
(86) **PCT/EP2007/002831**
(87) **WO 2007/112945 2007.10.11**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЛОНЦА АГ (CH)

(72) Изобретатель:
Роберж Доминик, Билер Николаус, Циммерманн Бертин (CH), Форберт Райнальд (DE)

(74) Представитель:
Веселицкая И.А., Пивницкая Н.Н., Кузенкова Н.В., Веселицкий М.Б., Каксис Р.А., Комарова О.М., Белоусов Ю.В. (RU)

(56) US-B1-6369893
US-A1-2003159530
WO-A-2004103539
WO-A-0218042
GB-A-2333350

(57) В изобретении описан блок микрореактора, содержащий по меньшей мере n технологических модулей (1-6), где n - целое число, равное или большее 1, выполненных из жесткого первого материала и содержащих по меньшей мере один проход (1A, 1B, 2A, 3A, 6A) для реакционной текучей среды для размещения и направления реакционной текучей среды, и по меньшей мере n+1 модулей (7, 8) теплообмена, выполненных из пластичного второго материала, отличающегося от первого материала, и содержащих по меньшей мере один проход (7A, 8A) для теплоносителя для размещения и направления теплоносителя, в которой каждый технологический модуль (1-6) расположен между двумя прилегающими к нему модулями (7, 8) теплообмена.

015204 B1

B1 015204

В целом, изобретение относится к блоку микрореактора (микрореакторной установки), содержащему по меньшей мере n технологических модулей и по меньшей мере n+1 модулей теплообмена, в котором каждый технологический модуль расположен между двумя смежными с ним модулями теплообмена.

Микрореакторы представляют собой реакционные устройства, используемые для проведения реакции одного или более реагентов (обычно включают смешивание двух или более реагентов) и в какой-то мере для управления реакцией этих реагентов посредством нагревания, или охлаждения, или теплового демпфирования этих реагентов перед, во время и/или после смешивания. Подобные микрореакторы для проведения химических реакций, занимающие небольшие площади, известны, например, из EP-A-0688242, EP-A-1031375, WO-A-2004/045761 и US-A-204/0109798.

Химические реакции, которые должны проводиться в микрореакторах, в основном, подразделяются на так называемые реакции типа A и реакции типа B.

Реакции типа A, например реакции органического вещества с металлом, являются очень быстрыми химическими реакциями и происходят сразу же при смешивании реагентов в смесительной камере, обычно в течение 1 с. Такие реакции можно назвать реакциями, управляемыми процессом смешивания. Для того чтобы дать всем реагентам возможность прореагировать полностью и избежать появления побочных продуктов реакции, в реакциях типа A необходимо быстрое и эффективное смешивание технологических текучих сред, а также эффективное тепловое управление. В подобных реакциях типа A обычно не требуется выдерживания времени после реакции либо необходим очень короткий промежуток времени, поэтому они могут проводиться в микрореакторах с малым удерживаемым объемом или объемом камеры, где находятся продукты реакции. Время пребывания для таких реакций обычно составляет менее 20 с.

Реакции типа B, например реакции Виттинга или реакции ацетоацетилирования ароматического амина с дикетеном, напротив, не являются быстрыми реакциями, и типичное время их прохождения составляет от 1 с до 10 мин. Прохождением этих реакций управляют концентрацией или кинетическими средствами управления. Для того чтобы реагенты могли полностью прореагировать и не образовались побочные продукты реакции, в реакциях типа B, скорее, требуется не быстрое смешивание реагентов, а управление условиями прохождения реакции во время всего времени реакции. Поэтому удерживаемый объем и объем камеры, куда попадают продукты реакции, должны быть такими, чтобы технологические текучие среды оставались внутри микрореактора длительное время в условиях, которыми можно управлять легко и с высокой точностью. До настоящего времени, однако, достижение более продолжительного времени пребывания в обычных микрореакторах вызывало затруднения из-за их малых размеров и дороговизны создания миниатюрных конструкций. Поэтому обычные микрореакторы используются, главным образом, для проведения реакций типа A.

Соответственно, в основу настоящего изобретения положена задача создания блока (сборки) усовершенствованного микрореактора, пригодного для обеспечения требуемого времени пребывания, в течение которого возможно управление температурой.

Эта цель достигается в блоке микрореактора в соответствии с п.1 формулы изобретения, содержащем следующий пакет:

по меньшей мере n технологических модулей (1-6), где n - целое число, равное или большее 1, причем каждый технологический модуль (1-6) выполнен из жесткого первого материала и содержит по меньшей мере один проход (1A, 1B, 2A, 3A, 6A) для реакционной текучей среды, который проходит сквозь внутреннее пространство технологического модуля (1-6) между по меньшей мере одним впускным отверстием (1C, 1D, 2C, 2D, 3C, 6C) для реакционной текучей среды и по меньшей мере одним выпускным отверстием (1E, 1F, 2E, 3D, 6D) для реакционной текучей среды и предназначен для размещения и направления (канализирования) реакционной текучей среды, в которых в случае по меньшей мере двух технологических модулей (1-6) по меньшей мере два технологических модуля (1-6) функционально соединены последовательно; и

по меньшей мере n+1 модулей (7, 8) теплообмена, выполненных из деформируемого или пластичного второго материала, отличного от упомянутого первого материала, и содержащих по меньшей мере один проход (7A, 8A) для теплоносителя, который проходит сквозь внутреннее пространство модуля (7, 8) теплообмена между по меньшей мере одним впускным отверстием (7B, 8B) для теплоносителя и по меньшей мере одним выпускным отверстием (7C, 8C) для теплоносителя и предназначен для размещения и направления (канализирования) теплоносителя, в которых по меньшей мере n+1 модулей (7, 8) теплообмена функционально соединены последовательно,

причем каждый технологический модуль (1-6) расположен между двумя смежными с ним модулями (7, 8) теплообмена.

По меньшей мере n технологических модулей и по меньшей мере n+1 модулей теплообмена каждый образуют независимый модуль, в котором имеется по меньшей мере один проход для текучей среды, т.е. проход для реакционной текучей среды или проход для теплоносителя, проходящий целиком внутри внутреннего пространства модуля между по меньшей мере одним впускным отверстием и по меньшей мере одним выпускным отверстием.

Благодаря тому, что технологические модули и модули теплообмена выполнены из различных ма-

териалов, имеется возможность выбрать указанные ниже первый и второй материалы для технологических модулей и модулей теплообмена соответственно.

Для технологических модулей первый материал может быть выбран как оптимальный материал для прохождения реакции между реагентами, в частности, устойчивый к коррозии и/или давлению. В предпочтительном варианте этот материал выбирается из группы, включающей нержавеющую сталь, сплав Хастелой, вольфрам, тантал, титан, керамики, кремний, графит и/или подходящую комбинацию одного или более из указанных первых материалов.

Для модулей теплообмена пластичный (пластически деформируемый) второй материал может быть выбран как оптимальный материал для теплопередачи и/или герметизации, особенно, с высокой теплопроводностью. В предпочтительном варианте этот материал выбирается из группы, включающей алюминий, сплавы алюминия, медь, сплавы меди, серебро и сплавы серебра и/или подходящую комбинацию одного или более из указанных вторых материалов.

Таким образом, благодаря использованию в блоке микрореактора раздельных технологических модулей и модулей теплообмена становится возможным оптимизировать каждый из этих модулей в соответствии с его назначением, т.е. проведения химической реакции и управления температурой процесса.

Преимуществом использования раздельных модулей для проведения химической реакции и управления температурой является возможность стандартизации компонентов блока микрореактора. При этом появляется возможность создания различных блоков (сборок) микрореакторов для проведения различных реакций с разным временем пребывания, различным объемом текучей среды, различным количеством переносимого тепла и т.д. Например, используя модули теплообмена с проходами для теплоносителя большего размера, можно подводить или отводить большие количества тепла в одном и том же технологическом модуле.

В то время как первый материал более жесткий, второй материал более пластичен. В предпочтительном варианте пластичный второй материал, используемый для модулей теплообмена, под давлением подвергается обратимой, т.е. упругой, или остаточной, т.е. пластической, деформации. При прижатии модулей теплообмена к смежному с ним технологическому модулю, выполненному из более жесткого первого материала, например нержавеющей стали или подобного ему, происходит небольшая деформация контактирующей поверхности модуля теплообмена так, что не требуется какой-либо дополнительной герметизации между технологическим модулем и модулем теплообмена.

В отличие от обычных микрореакторов, где толщина стенки, разделяющей технологические текучие среды и теплоносители, делается как можно тоньше для обеспечения хорошей теплопередачи, в настоящем изобретении предложены независимые технологические модули и модули теплообмена. Хотя при этом увеличивается расстояние между реакционными текучими средами и теплоносителем(ями), что ранее отмечалось как недостаток, благодаря оптимизации отдельных модулей в соответствии с их назначением были достигнуты существенно более высокие характеристики в отношении проведения реакции и управления температурой.

Каждый технологический модуль расположен между двумя модулями теплообмена, а каждый модуль теплообмена, если он не находится на конце микрореактора, расположен между двумя технологическими модулями. Модули теплообмена на концах блока микрореактора могут быть помещены между первым и вторым элементами каркаса соответственно и технологическим модулем.

В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления блока микрореактора, указанные по меньшей мере n технологических модулей содержат

смесительный модуль, в котором по меньшей мере один проход для реакционной текучей среды включает смесительную секцию для приема и смешивания по меньшей мере двух реакционных текучих сред; и, при желании,

по меньшей мере один терморегулирующий модуль, расположенный вверх по потоку от смесительного модуля для регулировки температуры реакционных текучих сред перед их подачей в смесительный модуль; и

по меньшей мере один модуль удерживания, расположенный вниз по потоку от смесительного модуля, для размещения (удержания) смеси реакционной текучей среды.

Использование более одного смесительного модуля дает возможность последовательно вводить большее число реакционных текучих сред для последовательных этапов реакции. В смесительном модуле реакционные текучие среды смешиваются в смесительной секции, которая образует часть по меньшей мере одного прохода для реакционной текучей среды, и, покидая смесительную секцию, собираются в первом удерживаемом объеме, также образующем часть по меньшей мере одного прохода для реакционной текучей среды. Конструктивно смесительная секция может представлять собой смеситель с вытеснением или с противоточным смешиванием, в то время как первый удерживаемый объем может включать один или более, по существу, прямолинейных проходов, соединенных угловыми изгибами. В предпочтительном варианте в первом удерживаемом объеме обеспечивается ламинарный поток.

Температурой реакционных текучих сред в смесительных модулях можно управлять двумя модулями теплообмена, примыкающими к смесительному модулю. Для этого теплый или холодный теплоноситель подводится по меньшей мере к одному проходу для теплоносителя внутри каждого из двух моду-

лей теплообмена, который путем теплопередачи подводит тепло технологическому модулю или отводит тепло от технологического модуля.

Как было указано выше, перед смешиванием двух или более реакционных текучих сред эти реакционные текучие среды могут быть нагреты или охлаждены. Для этого вверх по потоку от смесительного модуля устанавливается один или более терморегулирующий модуль. Этот терморегулирующий модуль содержит по меньшей мере один проход для реакционной текучей среды для каждой реакционной текучей среды, которая должна быть нагрета или охлаждена. Протекая по проходу(ам) для реакционной текучей среды, каждая реакционная текучая среда нагревается или охлаждается двумя модулями теплообмена, прилегающими к терморегулирующему модулю, так как это было описано выше применительно к смесительному модулю. Используя проходы разного объема, можно по-разному нагревать или охлаждать разные реагенты.

Пройдя смесительный модуль, смешанные реакционные текучие среды могут находиться в одном или более модуле удерживания. Для этого покинувшая смесительный модуль смесь реакционной текучей среды входит по меньшей мере в один проход для реакционной текучей среды внутри модуля удерживания, протекает по этому по меньшей мере одному проходу для реакционной текучей среды и затем выходит из модуля удерживания. При протекании по этому по меньшей мере одному проходу для реакционной текучей среды смесь реакционной текучей среды может быть подвергнута нагреванию, охлаждению или тепловому демпфированию посредством двух модулей теплообмена, прилегающих к каждому модулю удерживания так же, как это было описано ранее применительно к смесительному и терморегулирующему модулям. Используя различные модули удерживания с проходами для реакционной текучей среды различной формы, можно обеспечить различные условия пребывания текучей среды. Также имеется возможность использовать два или более модулей удерживания, соединенных друг с другом, причем каждый модуль удерживания зажат между модулями теплообмена, поэтому может быть использован модуль удерживания большого размера и, соответственно (в зависимости от скорости потока), может быть получено большое время удерживания (время пребывания), при том, что может быть обеспечено простое и точное управление условиями на время удерживания, в частности температурой смеси реакционной текучей среды.

В предпочтительном варианте проход для реакционной текучей среды технологического модуля, используемый для размещения и направления реакционной текучей среды, содержит плоский канал. В идеальном случае путь движения потока в микрореакторе представляет собой узкую трубку, диаметр которой обычно не превышает 1 мм. Если же требуется ламинарный нетурбулентный поток, то расход ограничен этим малым проходным сечением. Для увеличения расхода могут быть использованы несколько таких узких трубок. Но для этого требуется управлять стехиометрией смеси во всех трубках, а время пребывания во всех трубках должно поддерживаться одинаковым, чего трудно добиться в реальных системах.

Предлагаемый в качестве предпочтительного варианта осуществления плоский канал соответствует совокупности параллельных трубок. При этом при значительном увеличении расхода может поддерживаться ламинарный нетурбулентный поток.

Было установлено, что хорошие результаты могут быть получены при соотношении ширины к высоте от 1:4 до 1:50. В предпочтительном варианте отношение ширина/высота устанавливается в интервале 1:4-1:30. Еще более предпочтительным является соотношение ширина/высота в интервале от 1:5 до 1:25. В вариантах осуществления, использованных в качестве примера, ширина, равная 2 мм, высота, равная 10 мм, и длина, равная 1844 мм, были выбраны для плоского канала с отношением ширина/высота, равным 1:5. В других вариантах осуществления были проверены значения ширины, равные 1,4, 0,9 и 0,5 мм с соответствующими отношениями ширина/высота, равными 1:7,14; 1:11,11 и 1:20.

Благодаря малой ширине канала может поддерживаться в основном ламинарный поток технологических текучих сред, как в одиночных трубках, при увеличении расхода (объема технологической текучей среды в единицу времени). Кроме того, в предпочтительном варианте осуществления необходимо управлять стехиометрией состава только в одном объеме.

При расходе 100 мл/мин время для указанных выше каналов, т.е. каналов с шириной 2,0, 1,4, 0,9 и 0,5 мм, было измерено время пребывания, составляющее, соответственно, 5,7, 10,2, 15,9 и 22,6 с. По результатам этих измерений видно, что время пребывания для конкретной микрореакции может быть выбрано практически произвольно путем комбинирования различных модулей с различным значением времени пребывания. В частности, может быть получено время пребывания до 30 мин, более желательно до 20 мин и наиболее желательно до 10 мин.

В предпочтительном варианте осуществления блок микрореактора содержит по меньшей мере два технологических модуля, соединенных последовательно, причем каждый из них расположен между двумя прилегающими модулями теплообмена. Например, один или более смесительных модулей могут быть объединены по меньшей мере с одним предшествующим терморегулирующим модулем для доведения реакционных текучих сред до оптимальной температуры перед смешиванием и/или по меньшей мере одним модулем удерживания для обеспечения для смеси(ей) реакционных текучих сред требуемых значений времени пребывания. Во время смешивания и удерживания температурой смеси(ей) реакционных

текучих сред можно управлять посредством модулей теплообмена, прилегающих к каждому смесительному модулю и модулю удерживания. Дополнительный смесительный модуль, например, соединенный с предшествующим терморегулирующим модулем, может быть установлен между двумя модулями удерживания для проведения следующей реакции посредством подвода дополнительных реакционных текучих сред.

Проходы для реакционных текучих сред двух включенных последовательно технологических модулей могут быть соединены через внешнее соединение. Для этого могут быть использованы съемные или несъемные соединительные элементы, например трубы, штуцеры и др. В частности, к модулям могут быть припаяны или приварены отрезки труб либо могут быть использованы быстроразъемные соединители фирмы Swagelok. В то время как съемные внешние соединительные элементы обеспечивают повторное использование отдельных модулей, преимуществом несъемных отрезков труб является исключение паразитных объемов, а также увеличение прочности изготовленной микрореакторной сборки.

В предпочтительном варианте по меньшей мере один проход для теплоносителя внутри модуля теплообмена содержит по меньшей мере одно впускное отверстие для теплоносителя, соединенное с первым резервуаром с теплоносителем или по меньшей мере одним соединительным проходом для теплоносителя в смежном технологическом модуле, и по меньшей мере одно выпускное отверстие для теплоносителя, соединенное со вторым резервуаром с теплоносителем или соединительным проходом для теплоносителя в смежном технологическом модуле. Таким образом, связь друг с другом двух модулей теплообмена, между которыми заключен один технологический модуль, может осуществляться по меньшей мере по одному соединительному проходу для теплоносителя, имеющемуся в технологическом модуле. Преимуществом такой конфигурации является то, что не требуется никаких дополнительных соединителей для текучей среды между этими двумя модулями теплообмена.

В том случае, если модули теплообмена выполнены из пластичного материала и прижаты к технологическому модулю, нет необходимости в дополнительной герметизации на стыках по меньшей мере одного соединительного прохода для теплоносителя сквозь технологический модуль, соединяющего два соседних модуля теплообмена, благодаря небольшой пластической или упругой деформации соприкасающихся поверхностей модулей теплообмена. В другом предпочтительном варианте осуществления, напротив, на стыках впускных отверстий для теплоносителя и/или выпускных отверстий для теплоносителя могут быть использованы дополнительные уплотнители, дополнительно герметизирующие стыки соединений тракта теплоносителя между двумя последовательно соединенными модулями теплообмена по меньшей мере в одном соединительном проходе для теплоносителя, проходящем сквозь зажатый между ними технологический модуль. В частности, это может быть плотный уплотнитель, выполненный из Тефлона или подобного ему материала. Благодаря пластичности материала модулей теплообмена можно использовать жесткие уплотнители и не использовать эластичные уплотнители типа резины или кремнийорганических материалов, которые могут становиться хрупкими.

Конструкция по меньшей мере одного прохода для теплоносителя модуля теплообмена, в котором находится теплоноситель, может обеспечивать (высокую) турбулентность потока этого теплоносителя, благодаря чему улучшается теплопередача от модуля теплообмена к прилегающему технологическому модулю. В предпочтительном варианте достигается число Рейнольдса, равное или превосходящее 2600.

В предпочтительном варианте осуществления технологический модуль изготавливается соединением друг с другом первой пластины и второй пластины. Внутри поверхности соприкосновения этих первой и второй пластин посредством фрезерования, травления или другим способом может быть выполнен по меньшей мере один проход для реакционной текучей среды, предназначенный для размещения по меньшей мере одной реакционной текучей среды. В предпочтительном варианте по меньшей мере один проход для реакционной текучей среды представляет собой микроструктуру. После соединения друг с другом упомянутых первой и второй пластин посредством пайки, спекания, сварки и др. по меньшей мере один проход для реакционной текучей среды, предназначенный для размещения реакционной текучей среды, оказывается полностью заключенным внутри технологического модуля, за исключением по меньшей мере одного впускного отверстия для реакционной текучей среды и по меньшей мере одного выпускного отверстия для реакционной текучей среды.

Модуль теплообмена может быть изготовлен аналогичным образом с созданием по меньшей мере одного прохода для теплоносителя для размещения в нем по меньшей мере одного теплоносителя, внутри одной или обеих поверхностей соприкосновения первой и второй пластин, которые в дальнейшем будут соединены пайкой, сваркой и т.д. В альтернативном варианте между этими первой и второй пластинами может быть вставлена промежуточная пластина, содержащая одну или более прорезь. После соединения друг с другом первой, промежуточной и второй пластин эти прорези и соответствующие поверхности первой и второй пластин образуют по меньшей мере один проход для теплоносителя для размещения по меньшей мере одного теплоносителя.

Комбинация технологических модулей с внешним соединением с модулями теплообмена с внутренним соединением является наилучшим вариантом конструкции, обеспечивающей разделение по меньшей мере одной цепи для реакционной текучей среды и по меньшей мере одной цепи для теплоносителя и исключающей возможность перекрестного загрязнения.

В предпочтительном варианте осуществления в пакете технологических модулей и модулей теплообмена модули прижаты друг к другу по меньшей мере первым и вторым элементами каркаса. Для этого с использованием одной или более анкерной стяжки или стяжной шпильки первый и второй элементы каркаса могут быть сжаты друг с другом, сжимая тем самым между собой технологические модули и модули теплообмена.

В предпочтительном варианте осуществления каждый из элементов каркаса может содержать внутреннюю и наружную обоймы. В другом предпочтительном варианте осуществления, показанном на фиг. 17, один элемент каркаса состоит из одного конструктивного элемента, а второй элемент каркаса состоит из наружной и внутренней обойм, причем первый элемент каркаса непосредственно стянут с наружной обоймой посредством стяжных шпилек, а наружная обойма прижимает внутреннюю обойму к первому элементу каркаса и сжимает находящийся между ними пакет модулей.

Подобные стяжные шпильки могут быть использованы в центре и/или по краям микрореакторной сборки. При этом изготовление модульной микрореакторной сборки может быть легко выполнено с различным числом модулей.

Преимуществом этой конфигурации является то, что в центральной области первого и второго элементов каркаса образуется полость, благодаря чему при сдавливании первого и второго элементов каркаса прикладывается более высокое давление по периферийной части модулей. Благодаря этому улучшается герметизация микрореактора.

В наиболее предпочтительном варианте осуществления один модуль теплообмена прилегает к двум последовательно расположенным технологическим модулям, то есть в блоке микрореактора модули теплообмена чередуются с технологическими модулями. Преимуществом такого пакета является то, что он начинается и заканчивается модулем теплообмена. Если два последовательно установленных модуля теплообмена связаны друг с другом посредством соединительного прохода для теплоносителя, проходящего в зажатом между ними технологическом модуле, могут быть использованы модули теплообмена с одинаковой конструкцией, при этом каждый второй модуль поворачивается на 180° (поворот на 180° вокруг вертикальной оси в предположении, что теплоноситель протекает справа налево), в результате по меньшей мере одно выпускное отверстие первого модуля теплообмена, по меньшей мере один соединительный проход для теплоносителя в прилегающем технологическом модуле и по меньшей мере одно впускное отверстие для теплоносителя в следующем втором модуле теплообмена оказываются совмещенными.

По меньшей мере одно впускное отверстие для теплоносителя самого первого модуля теплообмена и по меньшей мере одно выпускное отверстие для теплоносителя последнего модуля теплообмена законченного блока микрореактора могут быть связаны с первым и вторым резервуаром для теплоносителя соответственно, при этом теплоноситель протекает от первого ко второму резервуару и обратно, выполняя нагревание, охлаждение или тепловое демпфирование технологических модулей блока микрореактора. Для этого в первом и втором элементах каркаса, примыкающих к первому и последнему модулям теплообмена, могут быть выполнены, соответственно, впускное и выпускное отверстия.

Могут быть выполнены и дополнительные впускные отверстия для теплоносителя и выпускные отверстия для теплоносителя в модулях теплообмена внутри микрореактора, соединенные с третьим, четвертым и т.д. резервуарами для теплоносителя. При этом, например, теплый первый теплоноситель может поступать из первого резервуара через модули теплообмена, между которыми зажат терморегулирующий модуль, в третий резервуар, нагревая тем самым реагент, проходящий через терморегулирующий модуль. Второй, холодный теплоноситель в этом случае может поступать из четвертого резервуара через модули теплообмена, между которыми зажаты модули удерживания, во второй резервуар, охлаждая тем самым технологические текучие среды в течение времени пребывания.

Как было показано выше, в предпочтительном варианте осуществления включенные один за другим модули теплообмена, по существу, одинаковы, причем каждый второй модуль повернут на 180°, благодаря чему по меньшей мере одно выпускное отверстие для теплоносителя первого модуля теплообмена, по меньшей мере один соединительный проход для теплоносителя в прилегающем технологическом модуле и по меньшей мере одно впускное отверстие для теплоносителя в прилегающем втором модуле теплообмена связаны друг с другом. Таким образом, теплоноситель протекает через микрореактор по зигзагообразному пути. В зависимости от числа технологических модулей и модулей теплообмена, может появиться необходимость установки двух модулей теплообмена рядом друг с другом для стыковки с впускным и выпускным отверстиями собранного микрореактора. Чтобы избежать соседства двух модулей теплообмена, они могут быть разделены одним модулем-заглушкой. В другом варианте, например, второй элемент каркаса, в котором может быть выполнено выпускное отверстие микрореактора, может быть повернут на 180° (поворот на 180° вокруг горизонтальной оси в предположении, что теплоноситель протекает справа налево) для того, чтобы обеспечить совмещение с выпускным отверстием последнего модуля теплообмена. В альтернативном варианте, например, может быть использован второй элемент каркаса со смещенным впускным отверстием.

Другие цели, преимущества и особенности изобретения будут понятны из описанных ниже вариантов осуществления настоящего изобретения со ссылкой на приложенные чертежи, на которых

на фиг. 1 представлен общий вид блока микрореактора, все штуцеры которого расположены с одной стороны согласно одному варианту осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 2 - общий вид блока микрореактора, показанного на фиг. 1, повернутого на 180°;

на фиг. 3 - вид фронтального сечения терморегулирующего модуля блока микрореактора, показанного на фиг. 1;

на фиг. 4 - вид слева терморегулирующего модуля, показанного на фиг. 3;

на фиг. 5 - вид фронтального сечения смесительного модуля блока микрореактора, показанного на фиг. 1;

на фиг. 6 - увеличенный вид верхнего левого угла вида на фиг. 5;

на фиг. 7 - вид фронтального сечения модуля удерживания блока микрореактора, показанного на фиг. 1;

на фиг. 8 - вид сверху сечения в плане смесительного модуля, показанного на фиг. 7;

на фиг. 9 - увеличенный вид впускного отверстия для реакционной текучей среды смесительного модуля, показанного на фиг. 8;

на фиг. 10 - вид фронтального сечения другого модуля удерживания микрореактора, показанного на фиг. 1;

на фиг. 11 - вид сверху сечения в плане смесительного модуля, показанного на фиг. 10;

на фиг. 12 - увеличенный вид впускного отверстия для реакционной текучей среды смесительного модуля, показанного на фиг. 10;

на фиг. 13 - вид фронтального сечения первого модуля теплообмена;

на фиг. 14 - вид бокового сечения модуля теплообмена, показанного на фиг. 13;

на фиг. 15 - вид фронтального сечения второго модуля теплообмена;

на фиг. 16 - вид бокового сечения модуля теплообмена, показанного на фиг. 15; и

на фиг. 17 - продольное сечение блока микрореактора в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения.

Блок микрореактора в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения, показанным на фиг. 1, 2, содержит первый элемент 10 каркаса, первый модуль 7 теплообмена, терморегулирующий модуль 1 в качестве технологического модуля, второй модуль 8 теплообмена, смесительный модуль 2 в качестве следующего технологического модуля, другой первый модуль 7 теплообмена, модуль 3 удерживания в качестве следующего технологического модуля, другой второй модуль 8 теплообмена, следующие модули 4, 5 и 6 удерживания соответственно, каждый из которых зажат между двумя модулями 7 и 8 теплообмена и вторым элементом 9 каркаса, установленные последовательно. Таким образом, между первым и вторым элементами 10 и 9 каркаса установлены с чередованием первые и вторые модули 7, 8 теплообмена и технологические модули 1-6.

Как показано на фиг. 14, 16, каждый модуль 7, 8 теплообмена содержит первую пластину 7M, 8M, промежуточную фасонную пластину 70, 80 и вторую пластину 7N, 8N соответственно, соединенные пайкой. Промежуточная пластина содержит прорезь в форме параллельных прямых проходов, причем два следующих друг за другом прохода соединены полукругом так, что образуется одна непрерывная синусоидальная прорезь. Эта прорезь в промежуточной пластине 70, 80 и внутренние поверхности первой и второй плит 7M, 7N и 8M, 8N соответственно, образуют проход 7A, 8A для теплоносителя в модуле 7, 8 теплообмена. На одном конце прорези в первой пластине 7M, 8M выполнено сквозное отверстие, а другое сквозное отверстие выполнено на противоположном конце прорези во второй пластине 7N, 8N, которые образуют впускные отверстия 7B, 8B для теплоносителя и выпускные отверстия 7C, 8C для теплоносителя соответственно, соединяющиеся с проходом 7A, 8A для теплоносителя.

Как показано на фиг. 13-16, первый и второй модули 7, 8 теплообмена, по существу, идентичны, при этом второй модуль 8 теплообмена развернут на 180°. Таким образом, после сборки выпускное отверстие 7C первого модуля 7 теплообмена и впускное отверстие 8B для теплоносителя второго модуля 8 теплообмена совмещены друг с другом, так же, как и выпускное отверстие 8C для теплоносителя второго модуля 8 теплообмена совмещено с впускным отверстием 7B следующего модуля 7 теплообмена.

Как показано на фиг. 3, 5, 7 и 10, каждый технологический модуль 1-3, 6 содержит два сквозных отверстия 1H-3H, 6H, одно из которых после сборки совпадает с впускным отверстием 7B, 8B для теплоносителя, в то время как другое совпадает с выпускным отверстием 7C, 8C для теплоносителя первого и второго модулей 7, 8, сжимающих каждый из этих технологических модулей 1-3, 6. Таким образом, проходы 7A, 8A для теплоносителя, предназначенные для размещения и канализирования теплоносителя в первом модуле 7 теплообмена и втором модуле 8 теплообмена, оказываются связанными друг с другом посредством соединительного прохода для теплоносителя, образованного сквозными отверстиями в соответствующем одном из технологических модулей 1-6, расположенных после сборки между первым модулем 7 теплообмена и вторым модулем 8 теплообмена, как это показано на фиг. 1, 2 и 17.

Впускное отверстие 7B для теплоносителя самого первого модуля 7 теплообмена соединяется с первым резервуаром (не показан) для теплоносителя через проход, имеющийся в первом элементе 10 каркаса, и присоединенный к нему первый соединительный элемент 12A. Выходное отверстие 8C для теплоносителя последнего модуля 8 теплообмена соединяется со вторым резервуаром (не показан) для

теплоносителя через проход, имеющийся во втором элементе 9 каркаса, и присоединенный к нему второй соединительный элемент 12B. При этом, например, теплый теплоноситель может протекать от первого резервуара через первый соединительный элемент 12A, первую обойму 10, группу первых и вторых модулей 7, 8 теплообмена, соединенных посредством соединительных проходов для теплоносителя в технологических модулях 1-6, расположенных между первым и вторым модулями 7, 8 теплообмена, вторую обойму 9 и второй соединительный элемент 12B во второй резервуар по зигзагообразному пути, нагревая последовательно все технологические модули 1-6 за счет теплообмена через пластины модулей.

Терморегулирующий модуль 1, более подробно показанный на фиг. 3, 4, используется в качестве первого технологического модуля. Терморегулирующий модуль 1 содержит проход 1A для первой реакционной текучей среды, соединяющийся с впускным отверстием 1C для первой реакционной текучей среды и выпускным отверстием 1F для первой реакционной текучей среды, и проход 1B для второй реакционной текучей среды, соединяющийся с впускным отверстием 1D для второй реакционной текучей среды и выпускным отверстием 1E для второй реакционной текучей среды. Первая реакционная текучая среда подается в проход 1A для первой реакционной текучей среды через впускное отверстие 1C для первой реакционной текучей среды. Вторая реакционная текучая среда подается в проход 1B для второй реакционной текучей среды через впускное отверстие 1D для второй реакционной текучей среды.

Терморегулирующий модуль 1 содержит первую и вторую пластины 1M, 1N (фиг. 4), которые соединены друг с другом пайкой или другим подобным способом. В соприкасающихся поверхностях первой и/или второй пластины 1M, 1N прорезаны синусоидальные проходы 1A, 1B для реакционной текучей среды посредством фрезерования, травления или другим способом.

Пока первая реакционная текучая среда проходит по проходу 1A для первой реакционной текучей среды в направлении выпускного отверстия 1F для первой реакционной текучей среды ее температура устанавливается двумя модулями 7, 8 теплообмена, между которыми расположен терморегулирующий модуль 1. Для этого теплоноситель, протекающий через модули 7, 8 теплообмена, подводит тепло к первой реакционной текучей среде или отводит от нее тепло посредством теплопередачи через пластины 7N, 8M модулей теплообмена, соприкасающихся с пластинами 1M, 1N терморегулирующего модуля.

Смесительный модуль 2, исполняющий роль второго технологического модуля, показан на фиг. 5, 6. Хотя это и не показано подробно, смесительный модуль 2 содержит первую и вторую пластины по аналогии с терморегулирующим модулем 1, описанным выше. В этом смесительном модуле имеется проход 2A для реакционной текучей среды, содержащий смесительную секцию 2G и первую секцию 2I удерживания.

Впускное отверстие 2C для первой реакционной текучей среды, соединяющееся с проходом 2A для реакционной текучей среды, соединено с выпускным отверстием 1F для первой реакционной текучей среды терморегулирующего модуля 1 посредством внешнего соединения (не показано). Впускное отверстие 2D для второй реакционной текучей среды, также соединяющееся с проходом 2A для реакционной текучей среды, аналогично соединено с выпускным отверстием 1E терморегулирующего модуля 1. Таким образом, первая и вторая реакционные текучие среды соответственно, после прохождения терморегулирующего модуля 1, попадают в смесительную секцию 2G прохода 2A в смесительном модуле 2, где происходит смешивание обеих реакционных текучих сред. Геометрия смесительной секции 2G, как показано в увеличенном виде на фиг. 6, может быть выбрана соответственно для обеспечения смешивания реакционных текучих сред оптимальным образом. После смешивания полученная технологическая текучая среда проходит в первую секцию 2I удерживания прохода 2A для реакционной текучей среды, который, в основном, имеет конфигурацию плоского канала, обеспечивающего, по существу, ламинарный поток технологических текучих сред.

Следует подчеркнуть, что геометрия проходов в технологических модулях 1-6 и модулях 7, 8 теплообмена не сводится к тем, что показаны на чертежах и описаны в связи с предпочтительными вариантами осуществления, а может выбираться любого подходящего вида.

При смешивании и пребывании в смесительной секции 2G и секции 2I удерживания прохождением химической реакции можно управлять посредством температуры с помощью двух модулей 7, 8 теплообмена, между которыми находится смесительный модуль 2.

Технологическая текучая среда, покидая проход 2A для реакционной текучей среды через выпускное отверстие 2E для реакционной текучей среды, попадает во впускное отверстие 3C для реакционной текучей среды первого модуля 3 удерживания, показанного на фиг. 7-9. Для этого выпускное отверстие 2E для текучей среды и впускное отверстие 3C для реакционной текучей среды имеют внешнее соединение посредством отрезка трубы или аналогичным путем (не показано). Модуль 3 удерживания так же, как и другие модули 4-6 удерживания, в основном, содержит первую пластину 3M-6M, соединенную со второй пластиной 3N-6N посредством пайки, сварки и др. Между этими двумя пластинами находится проход 3A-6A для размещения там технологических текучих сред в течение времени пребывания. Для этого в соприкасающейся поверхности первой и/или второй пластины травлением, фрезерованием или иным способом вырезается, по существу, синусоидальный плоский канал.

При протекании технологической текучей среды по проходу 3A для реакционной текучей среды ее температура регулируется посредством двух модулей 7, 8 теплообмена, прилегающих к модулю 3 удер-

живания, как это было описано ранее в отношении терморегулирующего модуля 1 и смесительного модуля 2.

Выходя из первого модуля 3 удерживания через выпускное отверстие 3D для реакционной текучей среды, реакционная текучая среда попадает в расположенные далее модули 4-6 удерживания через соответствующее впускное отверстие для реакционной текучей среды, соединенное с выпускным отверстием для реакционной текучей среды предшествующего модуля удерживания, как это было описано ранее в отношении впускного отверстия 3C для реакционной текучей среды и выпускного отверстия 2E для реакционной текучей среды. Таким путем реакционная текучая среда может протекать сквозь все расположенные далее модули 4-6 удерживания перед тем, как выйти из блока микрореактора сквозь выпускное отверстие 6D последнего технологического модуля.

Время пребывания внутри каждого модуля 3-6 удерживания определяется удерживаемым объемом, т.е. произведением сечения (ширина × высота) на длину прохода 3A-6A, в котором помещается технологическая текучая среда, деленным на расход. Таким образом, используя проходы с различными шириной, длиной и/или высотой, можно получить различное время пребывания. Комбинированием различных модулей удерживания с разной геометрией прохода можно практически произвольно выбирать время пребывания.

Как видно из сравнения фиг. 9 и 12, на которых показаны впускные отверстия 3C, 6C для реакционной текучей среды первого и четвертого модулей 3 и 6 удерживания соответственно, ширина плоского канала, определяющего проходы 3A, 6A для реакционной текучей среды, соответственно, может быть выполнена меньше (фиг. 9), существенно равной или больше ширины впускного отверстия для реакционной текучей среды.

Как показано на фиг. 1, 2, две стяжные шпильки 13 прижимают друг к другу первый и второй элементы 10, 9 каркаса, благодаря чему сдавливаются друг с другом сложенные стопой модули 7, 8 теплообмена и технологические модули 1-6. Благодаря установке стяжных шпилек 13 по периферии блока микрореактора и созданию полости (см. фиг. 17) в середине поверхностей элементов 10, 9 каркаса, соприкасающихся с модулями 7, 8 теплообмена, может быть получено высокое давление по периферии блока микрореактора. При этом впускные отверстия 7B, 8B для теплоносителя и выпускные отверстия 7C, 8C для теплоносителя модулей 7, 8 теплообмена, которые также расположены по периферии блока микрореактора, с большой силой прижимаются к соединительным проходам 1H-6H для теплоносителя в технологических модулях. Если модули 7, 8 теплообмена выполнены из пластичного материала, например алюминия, меди или их сплавов, края по периферии впускного и выпускного отверстий несколько деформируются под давлением, обеспечивая хорошее уплотнение относительно поверхности технологического модуля 1-6, вставленного между ними. Таким образом, через соединительный проход 1H-6H для теплоносителя в промежуточном технологическом модуле осуществляется герметичная связь между выпускным отверстием 7C, 8C для теплоносителя и впускным отверстием 7B, 8B для теплоносителя двух последовательно расположенных модулей 7, 8 теплообмена.

Дополнительно вокруг впускных отверстий 7B, 8B для теплоносителя и выпускных отверстий 7C, 8C для теплоносителя может быть установлен кольцевой уплотнитель. Для этого может быть использован, например, кольцевой паз в первой и второй пластинах 7M, 7N, 8M, 8N соответственно, в который вставляется кольцевой уплотнитель (не показан). Подобные кольцевые уплотнители могут быть выполнены из резины, кремнийорганических материалов или, желательно, Тефлона или подобного ему материала.

Как должно быть понятно из приведенного выше описания, блок микрореактора в соответствии с настоящим изобретением, благодаря своей модульной структуре обладает высокой гибкостью и обеспечивает возможность комбинирования смесительных каналов с различной геометрией с различными модулями удерживания, с получением произвольного времени пребывания, особенно в случае реакций типа B. В каждом из описанных технологических модулей 1-6 может обеспечиваться управление температурой благодаря использованию двух прилегающих модулей 7, 8. Поскольку теплопередача осуществляется только за счет теплопроводности пластин 1M-8M, 1N-8N модулей 7, 8 теплообмена и технологических модулей 1-6, нет необходимости в герметизации. Более того, имеется возможность оптимизации технологических модулей 1-6 в отношении находящихся в них реагентов, например устойчивости к коррозии и/или давлению, в то время как модули 7, 8 теплообмена, не имеющие контакта с реагентами, могут быть оптимизированы в отношении теплопередачи и/или параметров герметизации.

В описанном выше варианте осуществления модули 7, 8 теплообмена и технологические модули 1-6 сложены, чередуясь друг с другом, и теплоноситель протекает из первого резервуара через первый соединительный элемент 12A по зигзагообразному пути через все модули 7, 8 теплообмена во второй резервуар, присоединенный к второму соединительному элементу 12B. При этом все соединения по теплоносителю модулей 7, 8 теплообмена выполнены внутренними, без каких-либо дополнительных соединений. Преимуществом является и то, что могут быть использованы стандартизованные технологические модули и модули теплообмена, благодаря чему можно легко собирать различные модульные микрореакторы с различным временем пребывания и иными параметрами.

В описанном выше варианте осуществления один терморегулирующий модуль 1, один смеситель-

ный модуль 2 и четыре модуля 3-6 удерживания были объединены в указанном порядке. Возможны, однако, и произвольные комбинации таких модулей. Например, можно использовать большее число терморегулирующих модулей для увеличения длины пути, на котором происходит нагревание или охлаждение реагентов. Может использоваться больше смесительных модулей для многоступенчатых реакций. Могут использоваться различные модули удерживания для получения требуемого времени пребывания.

При некотором расходе, например 100 мл/мин, длине прохода технологического модуля, равной примерно 1844 мм, высоте прохода, равной 10 мм, и ширине прохода, равной 0,5-2 мм, в эксперименте было получено время пребывания, равное 6-22 с на каждый модуль. Может быть достигнуто общее время пребывания до 30 мин.

Оказалось, что внешнее соединение последовательно расположенных технологических модулей 1-6, существенно не влияет на управление температурой микрореактора. Поскольку температурой каждого технологического модуля 1-6, в особенности, каждого модуля 3-6 удерживания, можно управлять очень эффективно (нагрев, охлаждение, тепловое демпфирование) с обеих сторон, реакции в микрореакторе могут проводиться в широком диапазоне температур. Как и в описанном примере осуществления, желательно, чтобы один модуль 7, 8 теплообмена передавал (отводил) тепло расположенным друг за другом технологическим модулям 1-6 (за исключением самого первого и последнего модулей теплообмена).

Проходы для реакционной текучей среды в технологических модулях 1-6 выполняются технологиями микрообработки - травлением, фрезерованием и др. Поскольку модули 7, 8 теплообмена изготавливаются отдельно, для них не требуются дорогие технологии микрообработки. Более того, поскольку эти модули 7, 8 теплообмена не вступают в контакт с реагентами, от них не требуется устойчивости к коррозии или высоким технологическим давлениям, благодаря чему можно использовать материалы, оптимизированные для теплопередачи. В частности, для модулей теплообмена могут быть использованы следующие материалы.

Сплав алюминия ALMgSil (=EN AW-6082 EN6082):
EN AW-6082 EN AW-AlSi1MgMn AlMgSil DIN 3.2315
EN AW-6061 ENAW-AlMg1SiCu AlMg1SiCu DIN 3.3211
EN AW-6005A EN AW-AlSiMg(A) AlMgSi0,7 DIN 3.3210
EN AW-6012 EN AW-AlMgSiPb AlMgSiPb DIN 3.0615
EN AW-6060 ENAW-AlMgSi AlMgSi0,5 DIN 3.3206

Технологические модули 1-6, напротив, могут быть изготовлены, например, из следующих материалов:
DIN 1.4571 A1S1 316 Ti X 10 CrNiMoTi 18 10
DIN 2.4602 NiCr21Mo14W Хастелой C-22
DIN 2.4610 NiMol6Cr16Ti Хастелой C-4
DIN 2.4617 NiMo28 Хастелой B-2
DIN 2.4819 NiMol6Cr15W Хастелой C-276
DIN 2.4816 NiCr15Fe Инконель 600
DIN 2.4856 NiCr21Mo9Nb Инконель 625
DIN 2.4858 NiCr21Mo Инконель 825

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Блок микрореактора, содержащий пакет по меньшей мере из n технологических модулей (1-6), где n - целое число, равное или большее 1, а каждый технологический модуль (1-6) выполнен из жесткого первого материала и содержит по меньшей мере один проход (1A, 1B, 2A, 3A, 6A) для реакционной текучей среды, который проходит сквозь технологический модуль (1-6) между по меньшей мере одним впускным отверстием (1C, 1D, 2C, 2D, 3C, 6C) для реакционной текучей среды и по меньшей мере одним выпускным отверстием (1E, 1F, 2E, 3D, 6D) для реакционной текучей среды и предназначен для размещения и направления реакционной текучей среды, причем при наличии по меньшей мере двух технологических модулей (1-6) по меньшей мере два технологических модуля (1-6) соединены последовательно, и по меньшей мере n+1 модулей (7, 8) теплообмена, каждый из которых выполнен из пластичного второго материала, отличного от упомянутого первого материала, и содержит по меньшей мере один проход (7A, 8A) для теплоносителя, который проходит сквозь модуль (7, 8) теплообмена между по меньшей мере одним впускным отверстием (7B, 8B) для теплоносителя и по меньшей мере одним выпускным отверстием (7C, 8C) для теплоносителя и предназначен для размещения и направления теплоносителя, причем указанные по меньшей мере n+1 модуля (7, 8) теплообмена соединены последовательно, при этом каждый технологический модуль (1-6) расположен между двумя смежными с ним модулями (7, 8) теплообмена.

2. Блок микрореактора по п.1, в котором

первый материал обладает устойчивостью к коррозии и давлению и предпочтительно выбран из группы, включающей нержавеющую сталь, сплав Хастелой, вольфрам, тантал, титан, керамику, графит и/или подходящую комбинацию одного или более из указанных первых материалов, а

второй материал обладает теплопроводностью и предпочтительно выбран из группы, включающей алюминий, сплавы алюминия, медь, сплавы меди, серебро и сплавы серебра и/или подходящую комбинацию одного или более из указанных вторых материалов.

3. Блок микрореактора по п.1 или 2, в котором указанные по меньшей мере n технологических модулей (1-6) включают

смесительный модуль (2), имеющий по меньшей мере один проход (2A) для реакционной текучей среды, включающий смесительную секцию (2G) для приема и смешивания по меньшей мере двух реакционных текучих сред,

при необходимости, терморегулирующий модуль (1), расположенный выше по потоку от смесительного модуля (2), для регулировки температуры по меньшей мере двух реакционных текучих сред перед их подачей в смесительный модуль (2), и

при необходимости, один или более модулей удерживания (3-6), расположенных ниже по потоку от смесительного модуля (2), для размещения смеси реакционной текучей среды.

4. Блок микрореактора по любому из пп.1-3, в котором по меньшей мере один проход (1A, 1B, 2A, 3A, 6A) представляет собой плоский проход, содержащий изогнутые и/или прямые участки для обеспечения протекания соответствующей реакционной текучей среды по извилистому пути, причем предпочтительное отношение ширины к высоте этого плоского прохода составляет от 1:4 до 1:50, более предпочтительно от 1:4 до 1:30 и наиболее предпочтительно от 1:5 до 1:25.

5. Блок микрореактора по пп.1-4, в котором указанные по меньшей мере n технологических модулей (1-6) включают по меньшей мере два технологических модуля, последовательно соединенных внешним соединением.

6. Блок микрореактора по любому из пп.1-5, в котором указанные по меньшей мере n+1 модулей (7, 8) теплообмена включают

первый модуль (7) теплообмена, в котором по меньшей мере одно впускное отверстие (7B) для теплоносителя соединено с первым резервуаром теплоносителя, а выпускное отверстие (7C) для теплоносителя соединено со следующим модулем (8) теплообмена,

второй модуль (8) теплообмена, в котором по меньшей мере одно выпускное отверстие (8C) для теплоносителя соединено со вторым резервуаром теплоносителя, а впускное отверстие (8B) для теплоносителя соединено с предшествующим модулем (7) теплообмена, и,

при необходимости, по меньшей мере один дополнительный модуль теплообмена, расположенный между первым модулем (7) теплообмена и вторым модулем (8) теплообмена и соединенный последовательно с первым модулем (7) теплообмена и вторым модулем (8) теплообмена,

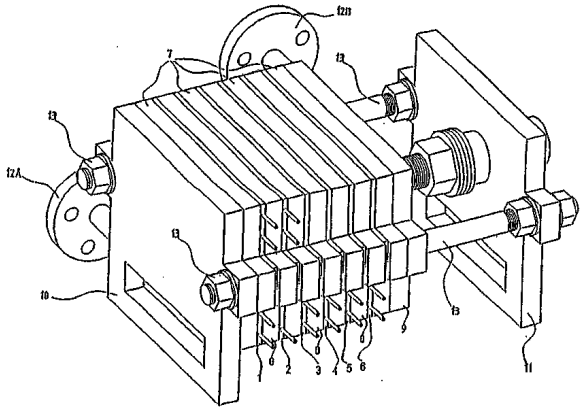
причем последовательное соединение двух последовательно расположенных модулей (7, 8) теплообмена осуществлено внутренним соединением посредством по меньшей мере одного соединительного прохода (1H, 2H, 3H, 6H) для теплоносителя, проходящего в соответствующем одном из по меньшей мере n технологических модулей (1-6), размещенных между двумя последовательно расположенными модулями (7, 8) теплообмена.

7. Блок микрореактора по любому из пп.1-6, в котором каждый из указанных по меньшей мере n технологических модулей (1-6) и/или по меньшей мере n+1 модулей (7, 8) теплообмена содержит первую пластину (1M-8M) и вторую пластину (1N-8N), нераздельно соединенные друг с другом предпочтительно пайкой, пайкой тугоплавким припоем, сваркой, склеиванием или подобным, и при этом каждый из упомянутых проходов для реакционной текучей среды, проходов для теплоносителя, впускных отверстий для реакционной текучей среды, выпускных отверстий для реакционной текучей среды и/или впускных отверстий для теплоносителя и выпускных отверстий для теплоносителя (1A, 1B, 1C-1F, 2A, 2C-2E, 2G, 3A, 3C, 3D, 6A, 6C, 6D, 7A, 8A) находятся между первой пластиной (1M-8M) и второй пластиной (1N-8N).

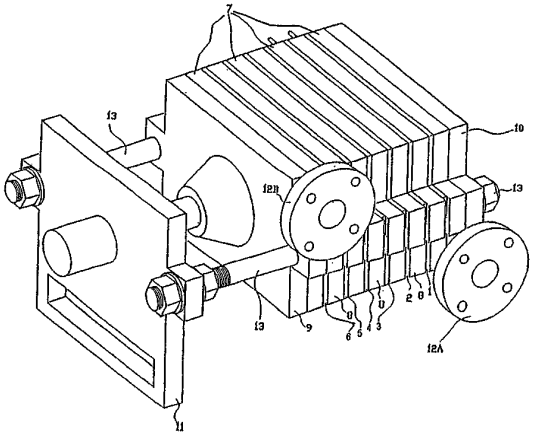
8. Блок микрореактора по п.7, в котором каждый из проходов для реакционной текучей среды, проходов для теплоносителя, впускных отверстий для реакционной текучей среды и выпускных отверстий для реакционной текучей среды, и/или впускных отверстий для теплоносителя и выпускных отверстий для теплоносителя (1A, 1B, 1C-1F, 2A, 2C-2E, 2G, 3A, 3C, 3D, 6A, 6C, 6D, 7A, 8A) выполнены путем удаления материала с внутренней поверхности по меньшей мере одной из первой (1M-8M) и второй (1N-8N) пластин.

9. Блок микрореактора по п.7, содержащий промежуточную фасонную пластину (70, 80), расположенную между первой пластиной (7M, 8M) и второй пластиной (7N, 8N) указанных по меньшей мере n+1 модулей (7, 8) теплообмена для создания проходов (7A, 8A) для теплоносителя.

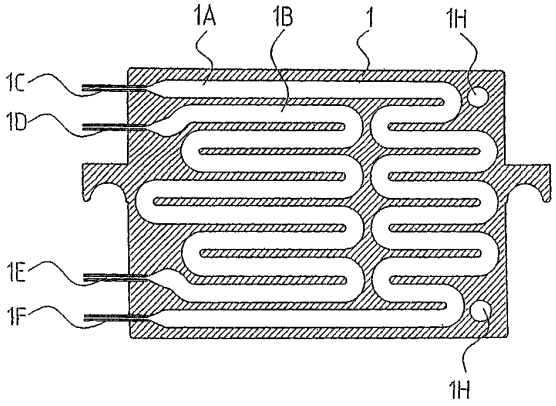
10. Блок микрореактора по любому из пп.1-9, дополнительно содержащий первый элемент (10) каркаса и второй элемент (9) каркаса, причем по меньшей мере n технологических модулей (1-6) и по меньшей мере n+1 модулей теплообмена (7, 8) прижаты друг к другу первыми и вторыми элементами (9, 10) каркаса.



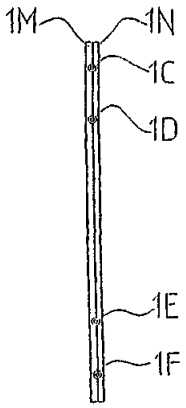
Фиг. 1



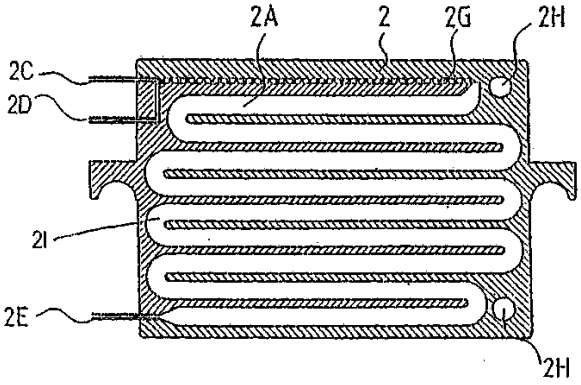
Фиг. 2



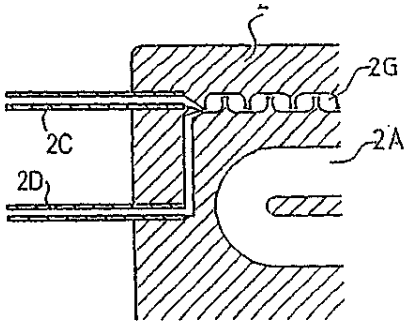
Фиг. 3



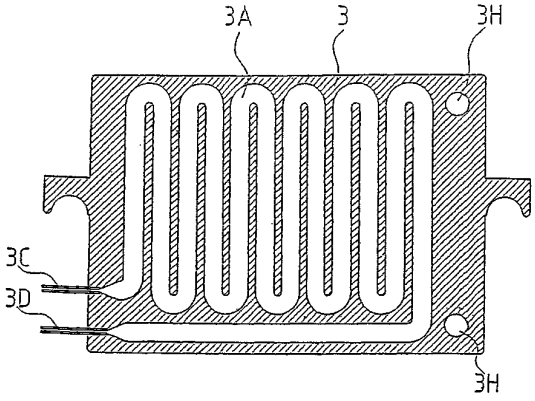
Фиг. 4



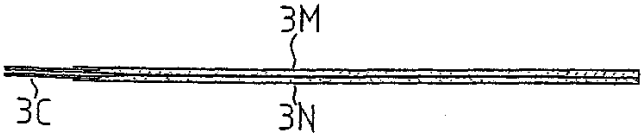
Фиг. 5



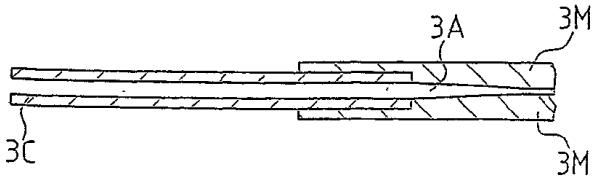
Фиг. 6



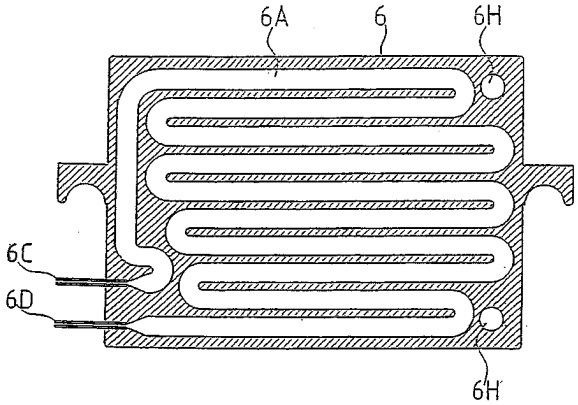
Фиг. 7



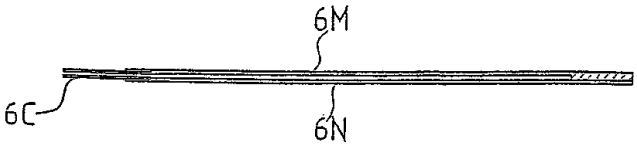
Фиг. 8



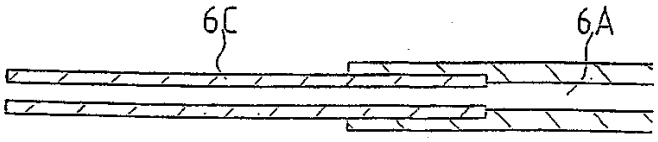
Фиг. 9



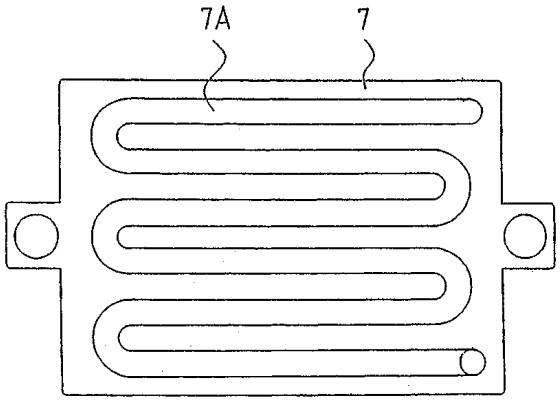
Фиг. 10



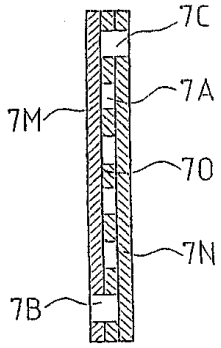
Фиг. 11



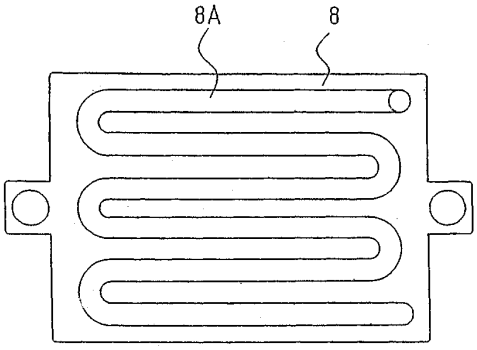
Фиг. 12



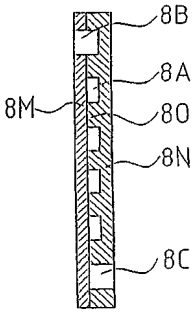
Фиг. 13



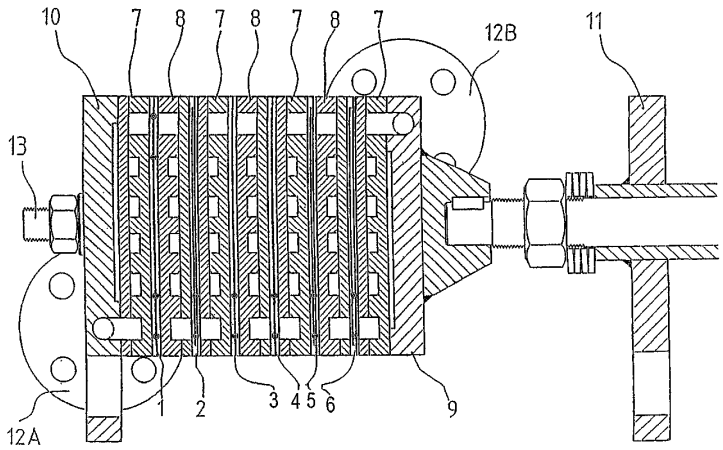
Фиг. 14



Фиг. 15



Фиг. 16



Фиг. 17

Евразийская патентная организация, ЕАПВ
Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2