



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012131517/06, 23.12.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
23.12.2010

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:

24.12.2009 GB 0922612.7;

26.02.2010 GB 1003244.9;

23.08.2010 GB 1014027.5

(43) Дата публикации заявки: 27.01.2014 Бюл. № 3

(45) Опубликовано: 20.04.2015 Бюл. № 11

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 2009193796 A1, 06.08.2009. US
2008202107 A1, 28.08.2008. WO 2008136232 A1,
13.11.2008. EP 1108864 A2, 20.06.2001. WO
2007116881 A1, 18.10.2007. RU 2007117927 A,
20.11.2008(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 24.07.2012(86) Заявка РСТ:
GB 2010/052209 (23.12.2010)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2011/077168 (30.06.2011)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

АРНОЛЬД Луиз Клер (GB),
БРИСЛИ Роберт Джеймс (GB),
КОЛЛИНЗ Нил Роберт (GB),
ГРИНВЭЛЛ Дэвид Роберт (GB),
МОРГАН Кристофер Гоф (GB)

(73) Патентообладатель(и):

ДЖОНСОН МЭТТИ ПЛС (GB)

(54) ВЫХЛОПНАЯ СИСТЕМА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ВОСПЛАМЕНЕНИЕМ ТОПЛИВА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

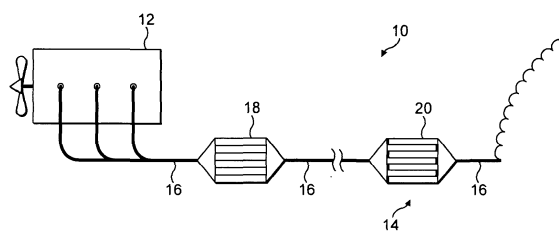
(57) Реферат:

Группа изобретений относится к выхлопной системе для обработки твердых частиц (РМ). Выхлопная система (10) двигателя внутреннего сгорания с принудительным воспламенением топлива транспортного средства (12) содержит фильтр (20) для фильтрования твердых частиц из выхлопного газа, выпускаемого из двигателя. Фильтр содержит пористую подложку, имеющую поверхности впуска и поверхности выпуска.

Поверхности впуска отделены от поверхностей выпуска пористой структурой, содержащей поры с первым средним размером пор. Пористая подложка покрыта покрытием тройного катализатора, содержащим множество твердых частиц. Пористая структура покрытой пористой подложки содержит поры со вторым средним размером пор, и при этом второй средний размер пор меньше первого среднего размера пор.

Покрытие тройного катализатора находится на отдельном монолите подложки (18), расположенном выше по потоку относительно фильтра. Масса покрытия тройного катализатора на расположенном выше по потоку монолите

подложки составляет $\leq 75\%$ от общей массы покрытия тройного катализатора в выхлопной системе. Техническим результатом изобретения является обеспечение эффективной фильтрации. 4 н. и 14 з.п. ф-лы, 7 ил., 8 табл.



ФИГ.5

RU 2 548 997 C 2

RU 2 548 997 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

F01N 3/035 (2006.01)*F01N* 3/08 (2006.01)*B01D* 53/94 (2006.01)*B01J* 29/00 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012131517/06, 23.12.2010

(24) Effective date for property rights:
23.12.2010

Priority:

(30) Convention priority:

24.12.2009 GB 0922612.7;

26.02.2010 GB 1003244.9;

23.08.2010 GB 1014027.5

(43) Application published: 27.01.2014 Bull. № 3

(45) Date of publication: 20.04.2015 Bull. № 11

(85) Commencement of national phase: 24.07.2012

(86) PCT application:

GB 2010/052209 (23.12.2010)

(87) PCT publication:

WO 2011/077168 (30.06.2011)

Mail address:

129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, stroenie 3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"

(72) Inventor(s):

ARNOL'D Luiz Kler (GB),

BRISLI Robert Dzhejms (GB),

KOLLINZ Nil Robert (GB),

GRINVEhLL Dehvid Robert (GB),

MORGAN Kristofer Gof (GB)

(73) Proprietor(s):

DZhONSON MEhTTI PLS (GB)

(54) **EXHAUST SYSTEM OF VEHICLE INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH POSITIVE FUEL IGNITION**

(57) Abstract:

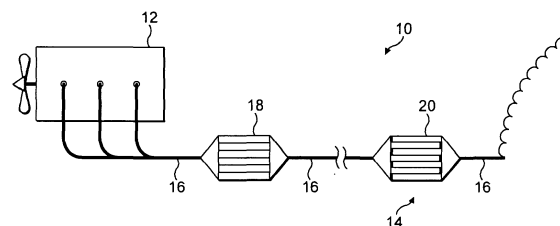
FIELD: transport.

SUBSTANCE: set of inventions relates to exhaust system for particulate matter (PM) processing. The exhaust system (10) vehicle (12) internal combustion engine with positive fuel ignition contains filter (20) to filter particulate matter out of exhaust gas released from engine. The filter contains porous substrate with inlet and outlet surfaces. Inlet surfaces are separated from outlet surfaces by porous structure containing pores of medium pore size. The porous substrate is covered with three-way catalyst coating containing multiple solid particles. Porous structure of covered porous substrate contains pores of the second medium pore size, and in this case the second medium pore size is smaller than the first medium pore size. The three-way catalyst

coating is on separate substrate monolith (18) located upstream of the filter. Mass of three-way catalyst coating on upstream substrate monolith is $\leq 75\%$ of total three-way catalyst coating mass in exhaust system.

EFFECT: effective filtration.

18 cl, 7 dwg, 8 tbl



ФИГ.5

Настоящее изобретение относится к выхлопной системе для обработки твердых частиц (PM) в выхлопном газе, выходящем из двигателя внутреннего сгорания с принудительным воспламенением топлива, в частности для стехиометрических двигателей внутреннего сгорания с принудительным воспламенением топлива, но которая также пригодна для двигателей с принудительным воспламенением обедненной топливной смеси, при этом система содержит фильтр для использования при обработке PM.

Двигатели с принудительным воспламенением топлива вызывают сгорание смеси углеводорода и воздуха с использованием искрового зажигания. В отличие от этого двигатели с воспламенением от сжатия вызывают сгорание углеводорода при впрыскивании углеводорода в сжатый воздух. Двигатели с принудительным воспламенением топлива могут быть снабжены топливом в виде бензинового топлива, бензинового топлива, смешанного с окислителями, включающими в себя метанол и/или этанол, сжиженный нефтяной газ или сжатый природный газ.

Тройной катализатор (TWC) обычно содержит один или более металлов платиновой группы, в частности металлов, выбранных из группы, состоящей из платины, палладия и родия.

TWC предназначены для ускорения трех одновременных реакций: (i) окисления монооксида углерода в диоксид углерода, (ii) окисления несгоревших углеводородов до диоксида углерода и воды; и (iii) восстановления оксидов азота до азота и кислорода. Они не предназначены для поглощения NO_x из обедненного выхлопного газа. Реакции (i)-(iii) включительно протекают наиболее эффективно, когда TWC принимает выхлопной газ из двигателя, текущий примерно при стехиометрической точке. Как хорошо известно из уровня техники, на количество монооксида углерода (CO), несгоревших углеводородов (HC) и оксидов азота (NO_x), выпускаемых при сгорании бензинового топлива в двигателе внутреннего сгорания с принудительным воспламенением (например, с искровым зажиганием) топлива, преимущественно влияет соотношение воздух-топливо в цилиндре внутреннего сгорания. Выхлопной газ, имеющий стехиометрически сбалансированный состав, является газом, в котором концентрации окислительных газов (NO_x и O_2) и восстановительных газов (HC и CO) по существу подходят друг к другу. Соотношение воздух-топливо, которое приводит к этому стехиометрически сбалансированному составу выхлопного газа, обычно бывает равным 14,7:1.

Теоретически возможно достижение полной конверсии O_2 , NO_x , CO и HC в стехиометрически сбалансированном составе выхлопного газа до образования CO_2 , H_2O и N_2 (и остаточного O_2), и это является рабочим циклом TWC. Поэтому в идеале двигатель должен функционировать таким образом, чтобы соотношение воздух-топливо сгораемой смеси приводило к образованию стехиометрически сбалансированного состава выхлопного газа.

Способом определения баланса составов между окислительными газами и восстановительными газами выхлопного газа является наличие значения лямбда (λ) выхлопного газа, которое может быть задано в соответствии с Уравнением (1), как:

Существующее соотношение воздух-топливо двигателя/стехиометрическое соотношение воздух-топливо двигателя (1),

в котором значение лямбда 1 отображает стехиометрически сбалансированный (или стехиометрический) состав выхлопного газа, причем значение лямбда >1 отображает избыток O_2 и NO_x , и состав описывается как «обедненный», и в котором значение

ламбда <1 отображает избыток НС и СО, и состав описывается как «обогащенный». В уровне техники является обычным обращение к соотношению воздух-топливо, при котором двигатель функционирует как «стехиометрический», «обедненный» или «обогащенный», в зависимости от состава выхлопного газа, который порождает соотношение воздух-топливо, а именно, бензиновый двигатель, работающий на стехиометрической смеси, или бензиновый двигатель, работающий на обедненной смеси.

Следует учитывать, что восстановление NO_x до N_2 с использованием TWC является менее эффективным, когда состав выхлопного газа является обедненным по стехиометрии. В равной мере TWC является менее пригодным для окисления СО и НС при обогащенном составе выхлопного газа. Поэтому задача состоит в поддержании состава выхлопного газа, втекающего в TWC при составе, как можно более близком стехиометрическому.

Конечно, когда двигатель находится в стабильном состоянии, для него можно относительно легко обеспечить стехиометрическое соотношение воздух-топливо. Однако при использовании двигателя для приведения транспортного средства в движение, требуемое количество топлива скоротечно изменяется, в зависимости от требований по загрузке, налагаемых на двигатель пользователем. Это позволяет регулировать соотношение воздух-топливо таким образом, чтобы генерирование стехиометрического выхлопного газа для трехступенчатой конверсии было особо затрудненным. На практике соотношение воздух-топливо регулируется блоком управления двигателем, который принимает информацию о составе выхлопного газа, выходящего из датчика выхлопного газа и кислорода (выхлопной газ кислород, EGO) (или ламбда), так называемой замкнутой системой обратной связи. Признаком такой системы является то, что соотношение воздух-топливо колеблется (или отклоняется от нормы) между стехиометрической (или контрольной заданной) точкой, соответствующей слегка обогащенному состоянию, и точкой, соответствующей слегка обедненному состоянию, поскольку существует временное запаздывание, связанное с регулировкой соотношения воздух-топливо. Это отклонение от нормы (пертурбация) характеризуется амплитудой соотношения воздух-топливо и частотой ответных реакций (Гц).

Активные компоненты в типичном TWC содержат один или оба из двух элементов, - платины и палладия, в сочетании с родием, или даже один палладий (без родия), нанесенный на оксид с высокой удельной поверхностью, и компонент, содержащий кислород.

При слегка обогащенном составе выхлопного газа в заданной точке существует необходимость в наличии небольшого количества кислорода, расходуемого на непрореагировавший СО и НС, т.е., для того, чтобы сделать реакцию более стехиометрической. Наоборот, при слегка обедненном составе выхлопного газа избыточный кислород должен быть израсходован. Это было достигнуто путем разработки компонента для хранения кислорода, который высвобождает или абсорбирует кислород в ходе пертурбаций. Наиболее часто используемый компонент для хранения кислорода (OSC) в современных TWC - это оксид церия (CeO_2) или смешанный оксид, содержащий церий, например смешанный оксид Ce/Zr .

Окружающие РМ большинством авторов делятся на следующие категории, исходя из их аэродинамического диаметра (аэродинамический диаметр задается как диаметр сферы с плотностью 1 г/см^3 с той же скоростью осаждения в воздухе в виде измеренной частицы):

- (i) РМ-10 - частицы с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм;

- (ii) Тонкие частицы с диаметром ниже 2,5 мкм (PM-2,5);
- (iii) Ультратонкие частицы с диаметрами ниже 0,1 мкм (или 100 нм); и
- (iv) Наночастицы, характеризующиеся диаметрами менее 50 нм.

Начиная с середины 1990-х годов, гранулометрический состав частиц, выпускаемых из двигателей внутреннего сгорания, привлекает все большее и большее внимание из-за возможных неблагоприятных влияний тонких и сверхтонких частиц на здоровье человека. Концентрации частиц PM-10 в окружающем воздухе регулируются законодательством США. Новый, дополнительный стандарт качества окружающего воздуха для PM-2,5 был введен в США в 1997 г. в результате медицинских исследований, которые выявили сильную корреляцию между смертностью людей и концентрацией тонких частиц размером менее 2,5 мкм.

В настоящее время интерес сместился к наночастицам, порождаемым дизельным и бензиновым двигателями, поскольку понятно, что такие частицы более глубоко проникают в человеческие легкие, чем наночастицы большего размера, а следовательно, считается, что они более опасны, чем большие по размеру частицы, при экстраполяции результатов исследований на частицы в диапазоне 2,5-10,0 мкм.

Распределение дизельных частиц по размерам имеет точно установленный бимодальный характер, который соответствует зародышеобразованию частиц и механизмам агломерирования, с соответствующими типами частиц, что называется, соответственно, режимом зародышеобразования и режимом накопления (см. фиг.1). Как видно из фиг.1, в режиме зародышеобразования дизельная PM состоит из многочисленных мелких частиц, имеющих очень маленькую массу. Почти все дизельные частицы имеют размеры, значительно меньшие чем 1 мкм, т.е., они содержат смесь тонких, т.е., подпадающих под Закон США от 1997 г., сверхтонких и наночастиц.

Считается, что частицы согласно режиму зародышеобразования состоят в основном из летучих конденсатов (углеводородов, серной кислоты, азотной кислоты и т.д.) и содержат небольшое количество твердого материала, такого как зола и уголь. Частицы согласно режиму накопления, как следует понимать, включают в себя твердые частицы (уголь, металлический шлак и т.д.), перемешанные с конденсатами и абсорбированным материалом (тяжелыми углеводородами, модификациями серы, производными диоксида азота и т.д.). Считается, что крупные частицы не создаются в ходе дизельного горения, а могут быть образованы посредством таких механизмов, как осаждение и последующее повторное увлечение зернистого материала со стенок цилиндра двигателя, выхлопной системы или системы отбора частиц. Соотношение между этими режимами показано на фиг.1.

Состав зародышевых частиц может изменяться в зависимости от режима работы двигателя, состояния окружающей среды (особенно температуры и влажности), состояния системы разбавления и отбора. Лабораторная работа и теория показали, что чаще всего режим зародышеобразования и роста происходит при низких диапазонах коэффициентов разбавления. При таких диапазонах преобразование газа в твердые частицы летучих частиц-предшественников, таких как тяжелые углеводороды и серная кислота, приводит к одновременному зародышеобразованию и росту в соответствии с режимом зародышеобразования, а также к адсорбции на поверхности существующих частиц в соответствии с режимом накопления. Лабораторные исследования (см., например, SAE 980525 и SAE 2001-01-O201) показали, что режим зародышеобразования усиливается с понижением температуры разбавления воздуха, но это является противоречивым доказательством наличия влияния влажности.

Как правило, низкая температура, низкие коэффициенты разбавления, высокая

влажность и длительное время пребывания благоприятствуют образованию и росту наночастиц. Исследования показали, что наночастицы состоят в основном из летучего материала, такого как тяжелые углеводороды и серная кислота, с заметной твердой фракцией при очень высоких нагрузках.

5 Напротив, распределение частиц бензина за пределами двигателя при стабильной эксплуатации показывает одномодальное распределение с максимумом примерно при 60 - 80 нм (см., например, фиг.4 в SAE 1999-01-3530). При сопоставлении с распределением размеров дизельных частиц твердые частицы бензина преимущественно являются сверхтонкими, с незначительным накоплением и укрупнением.

10 Накопление дизельных частиц в дизельном фильтре для задержания частиц примесей основано на принципе отделения частиц, появившихся в газе, от газовой фазы, с использованием пористого барьера. Дизельные фильтры могут быть определены как набивные фильтры и/или фильтры поверхностного типа. В набивных фильтрах средний размер пор наполнителя фильтра больше, чем средний диаметр накапливаемых частиц.
15 Частицы осаждаются на наполнителе с помощью сочетания механизмов глубинной фильтрации, включая диффузионное осаждение (броуновское движение), инерционное осаждение (закупоривание) и прерывание потока (броуновское движение или действие инерции).

В фильтрах поверхностного типа диаметр пор наполнителя фильтра меньше, чем
20 диаметр РМ, так что РМ отделяются за счет просеивания. Отделение осуществляется за счет накопления самих собираемых дизельных РМ, и это накопление обычно называют «фильтрационной коркой», а процесс - «фильтрацией посредством корки».

Следует понимать, что дизельные фильтры для задержания частиц примесей, такие как керамические стенные проточные монолитные фильтры, могут работать за счет
25 сочетания глубинной и поверхностной фильтрации: фильтрационная корка развивается при повышенных сажевых нагрузках, когда способность к глубинной фильтрации является насыщенной, а слой частиц начинает покрывать поверхность фильтрации. Глубинная фильтрация характеризуется несколько более низким КПД фильтрации и более низким перепадом давлений, чем при образовании фильтрационной корки.

30 В WO 03/011437 раскрыт бензиновый двигатель, имеющий выхлопную систему, содержащую средство для улавливания РМ из выхлопного газа, и катализатор для ускорения окисления РМ до диоксида углерода и/или воды в выхлопном газе, и этот катализатор содержит нанесенный щелочной металл. Средство для улавливания РМ является пригодным для улавливания РМ в диапазоне частиц 10 - 100 нм и может
35 представлять собой стенной проточный фильтр, изготовленный из керамического материала с подходящим размером пор, такого как кордиерит, покрытый катализатором, пена оксида металла, на которую нанесен катализатор, проволоочная сетка, дизельный стенной проточный фильтр, предназначенный для дизельных применений, электрофоретическая ловушка или термофоретическая ловушка (см.,
40 например, GB-A-2350804).

В WO 2008/136232 A1 раскрыт дизельный фильтр для задержания частиц примесей, содержащий сотовый наполнитель, имеющий клеточную оболочку, состоящую из пористого материала на основе клеточной оболочки, и нанесенный только на его входную по потоку сторону, или как на его входную, так и на выходную по потоку
45 сторону, поверхностный слой и удовлетворяющий следующим требованиям (1)-(5): (1) максимальный диаметр пор поверхностного слоя является идентичным или меньшим, чем средний диаметр пор клеточного материала, а пористость поверхностного слоя больше, чем пористость клеточного материала; (2) что касается поверхностного слоя,

максимальный диаметр пор составляет от 0,3 до менее чем 20 мкм, а пористость составляет от 60 до менее чем 95% (измеренная методом проникновения ртути); (3) толщина (L1) поверхностного слоя составляет от 0,5 до около 30% от толщины (L2) стенки клетки; (4) масса поверхностного слоя на площадь фильтрации составляет от 0,01 до менее чем 6 мг/см²; и (5) что касается клеточного материала, средний диаметр пор составляет от 10 до менее чем 60 мкм, а пористость составляет от 40 до менее чем 65%. См. также статью № 2009-01-O292 SAE (Society of Automotive Engineers, Общество автомобильных инженеров).

Другие технологии, предлагаемые в соответствии с уровнем техники для отделения бензиновых твердых частиц от газовой фазы, включают в себя вихревое извлечение.

Европейское законодательство о выбросах от 1 сентября 2014 г. (Евро 6) требует наличия контроля количества частиц, выпускаемых как из дизельных, так и бензиновых (работающих с принудительным воспламенением) пассажирских автомобилей. Для бензиновых европейских легковых автомобилей допустимые пределы составляют: 100 мг/км монооксида углерода; 60 мг/км оксидов азота (NO_x); 100 мг/км всех углеводородов (из которых неметановые углеводороды составляют <68 мг/км); и 4,5 мг/км твердых частиц (PM) только для двигателей с прямым впрыском топлива). Хотя полномочные органы еще не установили стандартное количество PM для Евро 6, следует четко

понимать, что оно будет указано на уровне $6,0 \times 10^{11}$ на 1 км. Настоящее описание основано на предположении, что это количество будет принято в порядке, установленном законом.

В Соединенных Штатах не установлено никаких стандартов по выбросам. Однако Калифорнийский совет воздушных ресурсов (State of California Air Resources Board, CARB) недавно опубликовал статью, озаглавленную как «Предварительный документ, представленный на обсуждение - поправки к Инструкциям для калифорнийских малотоксичных транспортных средств (LEV) для загрязняющих веществ с установленным предельно допустимым содержанием - LEV III» («Preliminary Discussion Paper - Amendments to California's Low-Emission Vehicle [LEV] Regulations для Criteria Pollutants - LEV III») (дата выпуска - 8 февраля 2010 г.), в которой предложен новый стандарт для PM от 2 до 4 мг PM на милю (1,25-2,50 мг PM на километр (в настоящее время - 10 мг PM на милю (6,25 мг PM на км))), и в данной статье указано, что: «Персонал получает впускные данные от различных изготовителей, что указывает на то, что стандарт 3 мг PM на милю (1,88 мг PM на километр) может быть установлен для бензиновых двигателей с прямым впрыском топлива, без необходимости использования фильтра для задержания частиц примесей». Дополнительно, в статье указано, что с этих пор масса PM и подсчет выбросов оказываются согласованными: «Хотя обязательный стандарт по количеству в настоящее время не принят, можно принять необязательный стандарт по количеству PM, составляющий примерно 1012 частиц на милю [6,2511 частиц на километр] (который изготовители могут выбрать вместо стандарта PM по массе)». Однако, поскольку Калифорнийский совет воздушных ресурсов еще не установил ни стандарта PM, ни количества PM, пока еще не представляется возможным узнать, будет ли необходимость в наличии фильтра для частиц на калифорнийском транспортном рынке или на американском транспортном рынке. Тем не менее, представляется возможным, чтобы определенные изготовители транспортных средств выбрали фильтры для обеспечения запаса безопасности по любым проектным решениям для двигателей с несамостоятельным возгоранием топлива, выбранным для того, чтобы отвечать стандартам независимо от того, какие

из них установлены в настоящее время.

Новый стандарт по выбросам Евро 6 представляет количество сложных конструкционных проблем, которые должны отвечать стандартам по выбросам бензинового двигателя. В частности, проблема того, как сконструировать фильтр или выхлопную систему, включающую в себя фильтр, для снижения количества выбросов РМ из бензинового двигателя (с принудительным воспламенением), которые еще в то же время отвечают стандартам по выбросам для загрязнителей, не связанных с твердыми частицами, таких как одно или более веществ из оксидов азота (NO_x), монооксида углерода (CO) и несгоревших углеводородов (HC), все из которых применяются при приемлемом противодавлении, например, как измеренное при максимальном периоде работы противодавление для европейского ездового цикла.

Было предусмотрено, чтобы минимальное восстановление частиц для фильтра тройного катализатора для задержания частиц примесей, отвечающее стандарту Евро 6 по количеству твердых частиц применительно к эквивалентному проточному катализатору, составляло $>50\%$. Дополнительно, тогда как некоторое повышение противодавления для тройного катализированного стенного проточного фильтра применительно к эквивалентному проточному катализатору является неизбежным, в нашем эксперименте максимальное противодавление для ездового цикла MVEG-B (среднее по трем испытаниям из «свежих») для большинства пассажирских транспортных средств должно быть ограничено <200 мбар, например <180 мбар, <150 мбар, а предпочтительно, <120 мбар, например <100 мбар.

Как было указано ранее, РМ, генерируемые двигателями с принудительным воспламенением топлива, имеют значительно более высокую долю сверхтонких частиц, с незначительным укрупнением и аккумулярованием, по сравнению с частицами, генерируемыми дизельными двигателями (с воспламенением от сжатия), и это является побудительным мотивом для удаления их из выхлопного газа двигателя с принудительным воспламенением топлива для предотвращения из выпуска в атмосферу. В частности, поскольку большинство твердых частиц, получаемых из двигателя с принудительным воспламенением топлива, являются относительно мелкими, по сравнению с распределением частиц по размерам для дизельных твердых частиц, не представляется практически возможным использование подложки фильтра, которая способствует образованию фильтрационной корки поверхностного типа из твердых частиц, возникших в ходе принудительного воспламенения, поскольку относительно низкий средний размер пор подложки фильтра, который может потребоваться, будет порождать неоправданно высокое противодавление в системе.

Кроме того, обычно можно использовать стандартный стенной проточный фильтр, предназначенный для улавливания дизельных РМ, для стимулирования поверхностной фильтрации РМ из двигателя с принудительным воспламенением топлива для обеспечения выполнения соответствующих стандартов по выбросам, поскольку в выхлопном газе, полученном в результате принудительного воспламенения, обычно существует мало РМ, так что образование сажевой корки маловероятно, а температуры выхлопного газа, полученного в результате принудительного воспламенения топлива, обычно бывают повышенными, что может привести к ускоренному удалению РМ путем окисления с предотвращением, таким образом, повышенного удаления РМ за счет образования фильтрационной корки. Глубинная фильтрация твердых частиц, полученных путем принудительного воспламенения, в стандартном дизельном стенном проточном фильтре также затруднена, поскольку РМ бывают более мелкими, чем размер пор фильтрующей среды. Следовательно, при нормальной эксплуатации непокрытый

стандартный дизельный стенной проточный фильтр будет обладать более низким КПД фильтрации при использовании совместно с двигателем с принудительным воспламенением топлива, чем в двигателе с воспламенением от сжатия.

Другая сложность состоит в комбинировании КПД фильтрации с загрузкой в виде покрытия, например, катализатора, отвечающего стандартам по выбросам для загрязнителей, отличных от РМ, при приемлемых противодавлениях. Дизельные стенные проточные фильтры для задержания частиц примесей в серийно выпускаемых транспортных средствах в настоящее время имеют средний размер пор примерно 13 мкм. Однако было обнаружено, что фильтр с покрытием этого типа при достаточной загрузке катализатора, как описано в US 2006/0133969, для достижения требуемых стандартов по выбросам для бензинового двигателя (с принудительным самовоспламенением) может вызвать неприемлемое противодавление.

Для снижения противодавления фильтра можно уменьшить длину подложки. Однако существует конечный уровень, ниже которого противодавление повышается со снижением длины фильтра. Подходящие длины фильтров согласно настоящему изобретению составляют 2 - 12 дюймов в длину, предпочтительно, 3 - 6 дюймов в длину. Поперечные сечения могут быть круглыми, и в опытно-конструкторской работе используются диаметры фильтра 4,66 и 5,66 дюймов. Однако поперечное сечение также может определяться пространством на автомобиле, которое требуется для помещения туда фильтра. Таким образом, для фильтров, расположенных в так называемом близко связанном местоположении, например внутри 50-сантиметрового выхлопного коллектора двигателя, где пространство бывает больше номинального, можно рассматривать эллиптическое или овальное поперечное сечение фильтра. Как можно было бы ожидать, противодавление также повышается с повышением загрузки покрытия и сажи.

В последнее время было предпринято множество усилий для комбинирования TWC с фильтрами для удовлетворения требований стандартов Евро 6 по выбросам.

В US 2009/0193796 раскрыта система обработки выбросов, расположенная ниже по потоку относительно бензинового двигателя с прямым впрыском топлива, предназначенная для обработки выхлопного газа, содержащего углеводороды, монооксид углерода, оксиды азота и твердые частицы, причем система обработки выбросов содержит катализированную ловушку твердых частиц, содержащую тройной катализатор (TWC), нанесенный на ловушку для твердых частиц или помещенный в нее. Общее описание указывает на то, что ловушка для твердых частиц с нанесенным TWC может быть расположена ниже по потоку относительно первого TWC-катализатора, где первый TWC-катализатор может быть меньше, чем требуемый в иных случаях, из-за функционального назначения TWC, нанесенного на ловушку твердых частиц. Для выхлопной системы, содержащей как первый TWC, так и расположенную ниже по потоку ловушку для твердых частиц с нанесенным TWC, никаких конкретных примеров не представлено.

В WO 2009/043390 раскрыт каталитически активный фильтр для задержания частиц примесей, содержащий элемент фильтра и каталитически активное покрытие, состоящее из двух слоев. Первый слой находится в контакте с втекающим выхлопным газом, тогда как второй слой находится в контакте с выходящим выхлопным газом. Оба слоя содержат оксид алюминия. Первый слой содержит палладий, второй слой содержит удерживающий оксид, смешанный оксид церия/циркония, в дополнение к родию. В Примерах подложка стенного проточного фильтра с точно не установленным средним размером пор покрыта первым слоем при загрузке приблизительно 31 г/л и вторым

слоем при загрузке приблизительно 30 г/л. То есть загрузка покрытия составляет примерно 1,00 г/дюйм³. Для большинства транспортных применений является маловероятным, чтобы этот покрытый фильтр был способен отвечать одним требуемым стандартам по выбросам. В описании также раскрыта система контроля выбросов для очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания, функционирующих с предварительно заданной стехиометрической смесью воздух/топливо, содержащей каталитически активный фильтр для частиц согласно раскрытию. В WO'390 не представлено никаких учений или предположений о том, что систему контроля выбросов можно использовать в сочетании с отдельным TWC, расположенным на подложке проточного монолитного фильтра выше по потоку относительно каталитически активного фильтра для частиц.

В GB 2468210 раскрыт фильтр для фильтрования твердых частиц (PM) от выхлопного газа, выпускаемого из двигателя с принудительным воспламенением топлива, содержащий пористую подложку, имеющую поверхности впуска и поверхности выпуска, причем поверхности впуска отделены от поверхностей выпуска пористой структурой, содержащей поры с первым средним размером пор, причем пористая подложка покрыта покрытием, содержащим множество твердых частиц, причем пористая структура покрытой пористой подложки содержит поры со вторым средним размером пор, и при этом второй средний размер пор меньше первого среднего размера пор. В вариантах осуществления покрытие является катализированным, и в конкретном варианте осуществления катализатор представляет собой TWC.

Практическая сложность при использовании фильтров для фильтрования твердых частиц в двигателях внутреннего сгорания с принудительным воспламенением топлива состоит в том, что пространство на пассажирском транспорте может быть ограниченным, и бывает, что фильтр приходится помещать в более холодном местоположении, так сказать, «под полом», под нижней частью транспортного средства. Часто бывает недостаточно пространства на транспортном средстве для размещения фильтра в любом более горячем местоположении, близком к коллектору двигателя (в так называемом «близко связанном» местоположении), и так или иначе относительно высокая термическая масса фильтра может предотвратить достаточно быстрое «выключение» катализатора сразу после холодного запуска двигателя. Это очень важно, поскольку законодательство оценивает выбросы транспортного средства в течение заданного ездового цикла. Большая часть загрязняющих выбросов транспортных двигателей с принудительным воспламенением топлива при испытательном цикле возникает в течение первых десяти секунд вслед за холодным запуском. Если TWC недостаточно быстро активируется вслед за холодным запуском, то это может означать различие между удовлетворительными и неудовлетворительными соответствующими выбросами с точки зрения стандарта, в течение всего ездового цикла.

«Отключение» может быть задано как температура, при которой катализатор ускоряет реакцию при желаемой активности конверсии. Например, «CO T₅₀» - это температура, при которой конкретный катализатор вызывает конверсию монооксида углерода в сырьевом газе, например до CO₂, с КПД по меньшей мере 50%. Аналогично, «HC T₅₀» - это температура, при которой углеводород, возможно конкретный углеводород, такой как октан или пропен, преобразуется, например, в водяной пар и CO₂ при КПД 80% или более.

Поэтому на практике выхлопные системы для транспортных двигателей с

принудительным воспламенением топлива, присутствующие в настоящее время на рынке, включают в себя TWC с относительно низкой термической массой, содержащий подложку проточного монокристаллического фильтра, расположенного в близко связанной позиции.

5 Однако было обнаружено, что, когда фильтр, катализированный TWC, расположен под полом транспортного средства и ниже по потоку относительно серийно выпускаемого близко связанного (проточного) TWC, температура в фильтре бывает
10 недостаточно надежной для сжигания твердых частиц в условиях исследуемого цикла или реальной езды. Ранние обозначения указывают на то, что твердые частицы, возникающие в двигателях с принудительным воспламенением топлива, сгорают в кислороде при более низких температурах, чем дизельные твердые частицы. Еще было обнаружено, что температура фильтра $>500^{\circ}\text{C}$ требуется для сжигания твердых частиц, поступающих из двигателей с принудительным воспламенением топлива. Можно
15 периодически впрыскивать дополнительный углеводород в выхлопной газ либо через управление двигателем с помощью топливных форсунок в цилиндр или непосредственно в выхлопной газ, для повышения температуры в фильтре, или для использования других средств, таких как электроподогреваемый катализатор в фильтре. Однако такие растворы являются дорогостоящими, технически сложными и в конце концов приводят к проигрышу в расходе топлива для водителя, т.е., к повышенному расходу топлива.

20 Сейчас было очень неожиданно обнаружено, что можно сконструировать выхлопную систему для двигателя внутреннего сгорания с принудительным воспламенением топлива транспортного средства, в котором температура фильтра достигает температур, пассивно достаточных для сжигания твердых частиц в течение по меньшей мере части установленного законом ездового цикла, или по меньшей мере для значительного
25 снижения частоты активных вмешательств, например, путем впрыскивания дополнительного углеводорода для повышения температуры фильтра.

Согласно одному аспекту, изобретение обеспечивает выхлопную систему двигателя внутреннего сгорания с принудительным воспламенением топлива транспортного средства, содержащую фильтр для фильтрования твердых частиц от выхлопного газа,
30 выпускаемого из двигателя, при этом фильтр содержит пористую подложку, имеющую поверхности впуска и поверхности выпуска, причем поверхности впуска отделены от поверхностей выпуска пористой структурой, содержащей поры с первым средним размером пор, причем пористая подложка покрыта покрытием тройного катализатора, содержащим множество твердых частиц, причем пористая структура покрытой пористой
35 подложки содержит поры со вторым средним размером пор, и при этом второй средний размер пор меньше первого среднего размера пор, а покрытие тройного катализатора находится на отдельном монолите подложки, расположенном выше по потоку относительно фильтра, причем масса покрытия тройного катализатора на расположенном выше по потоку монолите подложки составляет $\leq 75\%$ от всей массы
40 покрытия тройного катализатора в системе.

Три способа, с помощью которых изобретение можно осуществлять на практике, включают в себя, во-первых, использование меньшего объема монолита подложки, чем можно обычно использовать для расположенного выше по потоку монолита подложки в выхлопной системе для автомобильного двигателя с искровым зажиганием,
45 но с использованием той же загрузки покрытия TWC, то есть той, которая обычно используется, т.е., большей, чем в общей сложности примерно 3 г/дюйм^3 , в однослойной или в многослойной конфигурации. В настоящее время расположенные выше по потоку монолиты подложки при использовании составляют примерно 60-100% от рабочего

объема двигателя или выше, так что монолиты подложки, составляющие <60% от рабочего объема двигателя, например <55%, 50% или 45% от рабочего объема двигателя были покрыты при загрузке покрытия более примерно 3 г/дюйм³ и являются иллюстративными примерами катализированных расположенных выше по потоку монолитов подложки, имеющих применение в настоящем изобретении. Также возможно, чтобы расположенный выше по потоку монолит подложки имел две части - расположенную выше по потоку часть и расположенную ниже по потоку часть, причем каждая часть имеет отличную от другой загрузку покрытия, загрузку благородного металла и/или объема. Эта последняя двухчастная концепция также попадает в объем настоящего изобретения.

При этом первом расположении осевая длина расположенного выше по потоку монолита подложки может быть меньше, чем осевая длина серийно выпускаемого близко связанного монолита подложки, иногда называемого в технологии как «кристалл», в сочетании с относительно высокой загрузкой покрытия на тройной катализированной подложке фильтра.

Во-вторых, расположенный выше по потоку монолит подложки может иметь тот же или аналогичный размер, что и размер расположенного выше по потоку монолита подложки, обычно используемый в выхлопной системе для транспортного двигателя с искровым зажиганием, т.е., примерно 60 - 100% от рабочего объема двигателя или выше, но используемая нагрузка покрытия будет меньше, чем используемая в обычных расположенных выше по потоку монолитах подложки, т.е., < г/дюйм³, например <2,75 г/дюйм³, <2,5 г/дюйм³ или <2 г/дюйм³, в целом, в виде либо однослойной, либо многослойной конфигурации.

В-третьих, TWC для использования в расположенном выше по потоку монолите подложки может иметь по существу меньше активной загрузки покрытия, чем обычно используется в выхлопной системе транспортного двигателя с искровым зажиганием, например, может иметь меньше общей загрузки металла платиновой группы, или где используются два или более металла платиновой группы, причем массовая доля одного или более присутствующих металлов платиновой группы может быть ниже, по сравнению с одним или более других имеющихся металлов платиновой группы, и/или состав может иметь более низкую активность хранения кислорода, например иметь более низкую загрузку смешанного оксида на основе оксидов церия и циркония.

Конечно, можно использовать некоторые варианты из двух или всех трех вышеуказанных возможностей.

В вариантах осуществления масса загрузки покрытия TWC на расположенном выше по потоку монолите подложки составляет <70%, например <65%, <60% или <55%, от общей массы загрузки покрытия TWC в системе.

Изобретение основано на открытии того, что если сделать расположенный выше по потоку TWC менее эффективным, то достаточное количество загрязнителей (CO, несгоревшие углеводороды, NO_x и т.д.) способно проскальзывать сквозь тройной катализированный фильтр, контактируя с ним. Каталитическая конверсия оставшихся загрязнителей на трехкомпонентном катализированном фильтре порождает экзотермический эффект, который повышает температуру фильтра, что, таким образом, достаточно повышает температуру фильтра для сжигания твердых частиц на или в фильтре. Из предыдущего обсуждения должно быть ясно, что такое расположение не будет интуитивно понятным с точки зрения промышленных нормативов в этой области техники, поскольку близко связанные TWC сконструированы для обработки

загрязнителей после холодного запуска, насколько возможно, быстро и эффективно. Действенность этого принципа можно подтвердить компьютерным моделированием (см. Пример 8).

Изобретение также может быть задано функционально, например, путем определения
 5 расположенного выше по потоку монолита подложки как предназначенного для пропускания достаточного количества газообразного реагента, чтобы тройной катализированный фильтр, расположенный ниже по потоку, повышал температуру
 10 фильтра, например, более чем на 50°C для достижения температуры газа на входе фильтра, равной 400°C, по сравнению с близко связанным TWC с обычным составом; или TWC на расположенном выше по потоку монолите подложки конструируют для конверсии загрязнителей при кпд <80%, например кпд <75%, кпд <70%, кпд <65% или
 15 кпд <60%. Следует понимать, что любое или все из вышеуказанных альтернативных определений могут дополнять заявленное определение для проведения более четкого различия с уровнем техники.

Следует понимать, что является предпочтительным, чтобы отдельный монолит подложки, расположенный выше по потоку относительно фильтра, представлял собой
 20 проточный монолит подложки, например, с керамической или металлической конструкцией. Однако при необходимости можно использовать монолиты подложки, отличные от проточных монолитов подложки, например фильтры для частиц (см., например, WO 01/080978 или EP 1057519), подложки из металлической пены и т.д.

Также следует понимать, что масса покрытия TWC на расположенном выше по потоку монолите подложки задана относительно общей массы покрытия TWC в системе. Это предназначено для охватывания установок, в которых помимо фильтра более чем
 25 на одном монолите подложки нанесено покрытие TWC. Однако в предпочтительных вариантах осуществления масса покрытия TWC на расположенном выше по потоку монолите подложки задана относительно общей массы покрытия TWC в фильтре и в расположенном выше по потоку монолите подложки.

Двигатели с принудительным воспламенением топлива для использования согласно этой особенности изобретения можно снабжать бензиновым топливом, бензиновым
 30 топливом, смешанным с оксигенатами, включающими в себя метанол и/или этанол, сжиженный нефтяной газ или сжатый природный газ.

Более ранние свидетельства указывают на то, что настоящее изобретение пригодно для снижения количества выбросов частиц, поступающих из двигателя с принудительным
 35 воспламенением топлива более чем на 30%, например более чем на 50%, более чем на 80% или даже более чем на 90% при приемлемом противодавлении.

Средний размер пор можно определять по ртутной порометрии.

Следует понимать, что выгода от фильтров, предназначенных для использования в изобретении, по существу не зависит от пористости подложки. Пористость является
 40 мерой доли полости пор в пористой подложке и связана с противодавлением в выхлопной системе: обычно, чем ниже пористость, тем выше противодавление. Однако пористость фильтров, предназначенных для использования в настоящем изобретении, обычно составляет >40% или >50%, и можно успешно использовать пористость 45-75%, такую как 50-65% или 55-60%. Средний размер пор пористой подложки с покрытием
 45 важен для фильтрации. Таким образом, можно иметь пористую подложку, имеющую относительно высокую пористость, то есть, плохой фильтр, поскольку средний размер пор также относительно высок.

Пористая подложка может представлять собой металл, такой как спеченный металл, или керамику, например карбид кремния, кордиерит, нитрид алюминия, нитрид кремния,

титанат алюминия, оксид алюминия, муллит, например игольчатый муллит (см., например, WO 01/16050), поллуцит, кермет, такой как $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$ или $\text{B}_4\text{C}/\text{Fe}$, или композиты, содержащие части любых из двух или более из них. В предпочтительном варианте осуществления, фильтр представляет собой стенной проточный фильтр, содержащий керамическую пористую подложку фильтра, имеющую множество впускных каналов и множество выпускных каналов, в которых каждый впускной канал и каждый выпускной канал образован частично керамической стенкой из пористой структуры, причем каждый впускной канал отделен от выпускного канала керамической стенкой из пористой структуры. Это расположение фильтра также раскрыто в SAE 810114, и можно сделать ссылку на этот документ для более подробного объяснения. В качестве альтернативы, фильтр может представлять собой пену или так называемый фильтр неполного потока, такие как раскрытые в EP 1057519 или WO 01/080978.

Причины, мотивирующие нанесение покрытия на фильтр в виде покрытия для дизельного применения, обычно отличны от тех, которые характерны для настоящего изобретения. В дизельных применениях покрытие используют для введения каталитических компонентов на подложку фильтра, например катализаторов для окисления NO в NO_2 , еще существует значительная проблема в предотвращении таких предпосылок для противодействия, как накопление сажи. Следовательно, баланс состоит во взаимодействии между требуемой каталитической активностью и приемлемым противодействием. В отличие от этого первостепенный мотивирующий фактор для нанесения покрытия на пористую подложку для ее использования в настоящем изобретении состоит в достижении как требуемой КПД фильтрации, так и каталитической активности.

В одном варианте осуществления, первый средний размер пор, например поверхностных пор пористой структуры пористой подложки фильтра, составляет 8-45 мкм, например 8-25 мкм, 10-20 мкм или 10-15 мкм. В конкретных вариантах осуществления первый средний размер пор составляет >18 мкм, такой как 15-45 мкм, 20-45 мкм, например 20-30 мкм или 25-45 мкм.

В вариантах осуществления фильтр имеет загрузку покрытия $>0,25$ г/дюйм³, такую как $>0,5$ г/дюйм³ или $>0,80$ г/дюйм³, например 0,80-3,00 г/дюйм³. В предпочтительных вариантах осуществления загрузка реактивной грунтовок составляет $>1,00$ г/дюйм³, такую как $>1,2$ г/дюйм³, $>1,5$ г/дюйм³, $>1,6$ г/дюйм³ или $>2,00$ г/дюйм³, или например 1,6-2,4 г/дюйм³. В конкретных сочетаниях среднего размера пор фильтра и загрузки покрытия в фильтре сочетаются требуемый уровень фильтрации твердых частиц и каталитическая активность при приемлемом противодействии.

В первом предпочтительном варианте осуществления фильтр содержит поверхностное покрытие, при этом слой покрытия по существу покрывает поверхностные поры пористой структуры, а поры покрытой пористой подложки частично образованы пространствами между частицами (межчастичные поры) в покрытии. То есть по существу никакое покрытие не попадает в пористую структуру пористой подложки. Способы создания пористых подложек с поверхностным покрытием включают в себя введение полимера, например поливинилового спирта (ПВС), в пористую структуру, нанесение покрытия на пористую подложку фильтра, включающую в себя полимер, и высушивание с последующим прокаливанием покрытой подложки для сжигания полимера. Схематичное представление первого варианта осуществления показано на фиг.2А.

Способы покрытия пористых подложек фильтра известны специалистам в данной

области техники и включают в себя без ограничений способ, раскрытый в WO 99/47260, т.е., способ нанесения покрытия на монолитную опору, включающий в себя этапы (а) размещения средства сдерживания наверху опоры, (b) дозировки заданного количества жидкого компонента в средство сдерживания, либо в порядке (а), а затем в порядке (b) либо в порядке (b), а затем (а), и (с) приложения давления или вакуума, введения жидкого компонента по меньшей мере в часть опоры, и удерживания почти всего количества внутри опоры. Такие технологические операции можно повторять с другого конца монолитной опоры вслед за высушиванием первого покрытия с соотношением (не обязательным) сжигание/прокаливание.

В этом первом варианте осуществления средний размер межчастичных пор пористого покрытия составляет 5,0 нм-5,0 мкм, например 0,1-1,0 мкм.

D90 твердых частиц покрытия в этом первом варианте осуществления поверхностного покрытия может быть больше, чем средний размер пор пористой подложки фильтра и может находиться в диапазоне 10-40 мкм, в таком как 15-30 мкм или 12-25 мкм. «D90» в целях настоящей работы образует распределение частиц по размерам в покрытии, где 90% имеющихся частиц имеют диаметр в пределах указанного диапазона. В качестве альтернативы, в вариантах осуществления средний размер твердых частиц покрытия находится в диапазоне 1-20 мкм. Следует понимать, что размеры частиц покрытия в широком диапазоне и скорее даже, что покрытие может проникать в пористую структуру пористой подложки. Поэтому предложение «фактически никакое покрытие не проникает в пористую структуру подложки» следует интерпретировать соответствующим образом.

Согласно второму варианту осуществления покрытие можно наносить на поверхности впуска и/или выпуска, а также в пористую структуру пористой подложки.

Предполагается, что поверхностный слой вокруг отверстий пор на поверхности впуска и/или выпуска, таким образом, уменьшает, например, размер поверхностных пор открытой подложки фильтра, способствует взаимодействию с газовой фазой, включающей в себя РМ, без существенного ограничения объема пор, что не порождает существенного повышения противодавления. То есть поры на поверхности пористой структуры имеют отверстия, и покрытие вызывает сужение почти всех отверстий пор. Схематичное отображение второго варианта осуществления показано на Фиг.2В.

Способы создания фильтра согласно второму варианту осуществления могут предполагать наличие подходящего состава покрытия, известного специалистам в данной области техники, включают в себя регулировку вязкости и характеристики смачивания поверхности, а также применение подходящего вакуума вслед за нанесением покрытия на пористую подложку (см. также WO 99/47260).

В первом и во втором вариантах осуществления, в которых по меньшей мере часть покрытия наносят на поверхности впуска и/или выпуска пористой подложки, покрытие можно наносить на поверхности впуска, на поверхности выпуска или на те и другие. Кроме того, либо поверхности впуска, либо поверхности выпуска, либо те и другие могут включать в себя множество слоев покрытия, причем каждый слой покрытия из множества слоев может быть таким же, что и другие, или отличным от них, например средний размер пор в первом слое может отличаться от среднего размера пор во втором слое. В вариантах осуществления покрытия, покрытие, предназначенное для нанесения на поверхности выпуска, не обязательно является тем же, что и для нанесения на поверхности впуска.

Там, где как на поверхности впуска, так и на поверхности выпуска нанесены покрытия, составы покрытия могут быть одинаковыми или различными. Если на поверхности впуска и выпуска нанесено покрытие, средний размер пор покрытия на

поверхностях впуска может отличаться от среднего размера пор покрытия на поверхностях выпуска. Например, средний размер пор покрытия на поверхностях впуска может быть меньше, чем средний размер пор покрытия на поверхностях выпуска. В последнем случае средний размер пор покрытия на поверхностях выпуска может

5 быть больше, чем средний размер пор пористой подложки.

Тогда как является возможным, чтобы средний размер пор покрытия, нанесенного на поверхности впуска, был больше, чем средний размер пор пористой подложки, предпочтительно иметь покрытие, имеющее меньшие поры, чем поры пористой подложки в покрытии на поверхностях впуска, для предотвращения или снижения

10 возможности для какого-либо сгорания золы или мусора, попадающего в пористую структуру.

Согласно третьему варианту осуществления покрытие находится по существу внутри пористой структуры пористой подложки, т.е., проникает в нее. Схематичное отображение этого третьего варианта осуществления показано на фиг.2С. Способы

15 создания фильтра согласно третьему варианту осуществления включают в себя подходящий состав покрытия, известный специалистам в данной области техники, а также характеристики регулировки вязкости, подбора низкого смачивания и применение подходящего вакуума вслед за нанесением покрытия на пористую подложку (см. также WO 99/47260). В качестве альтернативы, пористую подложку можно пропитывать в

20 подходящем растворе солей, а полученный продукт можно высушивать и прокаливать.

Во втором и третьем вариантах осуществления, в которых по меньшей мере часть покрытия находится в пористой структуре, размер, например средний размер, твердых частиц покрытия может быть меньше, чем средний размер пор пористой подложки фильтра, например, в диапазоне 0,1-20 мкм, таком как 1-18 мкм, 1-16 мкм, 2-15 мкм

25 или 3-12 мкм. В конкретных вариантах осуществления размер твердых частиц покрытия составляет D90 вместо среднего размера.

В других конкретных вариантах осуществления поверхностная пористость покрытия повышается при включении в нее пустот. Катализаторы для выхлопных газов, имеющие такие признаки, раскрыты, например, в WO 2006/040842 и WO 2007/116881.

30 Под «пустотами» в слое покрытия подразумевается пространство, существующее в слое, образованном твердым материалом покрытия. Пустоты могут включать в себя любые вакансии, тонкие поры, туннельное состояние (цилиндр, призматическая колонна), щели и т.д. и могут быть введены путем их включения в состав покрытия для нанесения на материал подложки фильтра, который сгорает в ходе прокаливания

35 покрытой подложки фильтра, например рубленый хлопок, или материалы, порождающие образование пор за счет формирования газа при разложении или горении. Там, где присутствуют пустоты, они отличаются друг от друга, и поэтому не должны рассматриваться с точки зрения определения среднего размера межчастичных пор пористого покрытия.

40 Средний коэффициент пористости покрытия может составлять 5-80%, тогда как средний диаметр пустот может составлять 0,2-500 мкм, такой как 10-250 мкм.

Покрытие для использования в фильтре согласно изобретению представляет собой тройное каталитическое покрытие, которое можно использовать в сочетании с другими каталитическими покрытиями, выбранными из группы, состоящей из углеводородной ловушки, NO_x, абсорбера, окислительного катализатора, катализатора селективного каталитического восстановления (SCR), катализатора обедненных NO_x и сочетаний

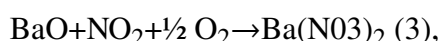
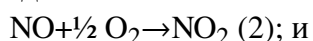
45 любых двух или более из них. Например, в предпочтительных вариантах осуществления поверхности впуска покрывают покрытием TWC, а поверхности выпуска покрывают

покрытием SCR. При таком расположении в сочетании с работой на переобогащенной смеси двигателя непосредственно на TWC может происходить генерирование аммиака, предназначенного для использования в восстановлении NO_x на катализаторе SCR, расположенном на поверхностях выпуска. Аналогично, окислительный катализатор

может включать в себя функциональную ловушку углеводородов. Каталитическое покрытие, такое как абсорбер NO_x , окислительный катализатор, ловушка углеводородов и катализатор обедненного NO_x , может содержать один или более металлов платиновой группы, в частности металлов, выбранных из группы, состоящей из платины, палладия и родия.

Катализаторы, поглощающие оксиды азота (NACs), известны, например, из патента США № 5473887 и предназначены для поглощения оксидов азота (NO_x) из обедненного выхлопного газа (лямбда >1) и для десорбции NO_x при снижении концентрации кислорода в выхлопном газе. Для этого NAC содержат относительно высокую загрузку щелочноземельного и/или щелочного металла, например, порядка 800 г/дюйм³. В отличие от этого TWC спроектированы не для поглощения NO_x , однако, они могут включать в себя щелочноземельные и/или щелочные металлы в качестве промоторов катализатора, например барий и/или стронций. Общие количества щелочноземельных и/или щелочных металлов для использования в качестве промоторов в TWC обычно составляют <300 г/дюйм³, такие <250 г/дюйм³, <150 г/дюйм³, <100 г/дюйм³ или даже <50 г/дюйм³. Десорбированные NO_x можно снизить до N_2 с помощью подходящего восстановителя, например бензинового топлива, обеспеченного компонентом катализатора, таким как родий, самого NAC, или расположенным ниже по потоку относительно NAC. На практике контроль концентрации кислорода можно иногда отрегулировать до требуемого окислительно-восстановительного состава в ответ на рассчитанную поглощающую способность оставшихся NO_x в NAC, например, до уровня, более высокого, чем для обычной работы двигателя (но все еще с составом, обедненным по стехиометрии, или с лямбда =1), при стехиометрическом составе или богатым по стехиометрии (лямбда <1). Концентрацию кислорода можно отрегулировать множеством способов, например путем дросселирования, впрыскивания дополнительного углеводородного топлива в цилиндр двигателя, например, в ходе такта выхлопа, или путем впрыскивания углеводородного топлива непосредственно в выхлопной газ ниже по потоку относительно коллектора двигателя.

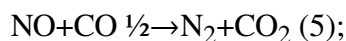
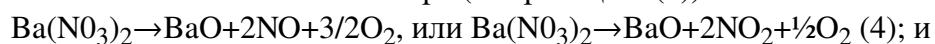
Типичный состав NAC включает в себя каталитический окислительный компонент, такой как платина, значительное количество, т.е., значительно больше, чем требуется для использования в качестве промотора, такого как промотор в TWC, компонента для хранения NO_x , такого как барий, и восстановительный катализатор, например родий. Один механизм, обычно используемый для хранения NO_x , поступающего из обедненного выхлопного газа для этого состава, представляет собой:



где в реакции (2) оксид азота взаимодействует с кислородом на активных окислительных центрах на платине с образованием NO_2 . Реакция (3) включает в себя адсорбцию NO_2 удерживающим материалом с образованием неорганического нитрата.

При более низких концентрациях кислорода и/или при повышенных температурах

нитратные группы становятся термодинамически нестабильными и разлагаются с образованием NO или NO₂ согласно реакции (4), приведенной ниже. В присутствии подходящего восстановителя эти оксиды азота впоследствии восстанавливаются монооксидом углерода, а водород и углеводороды - до N₂, что может происходить на восстановительном катализаторе (см. реакцию (5)).



(Другие реакции включают в себя реакцию $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + 8\text{H}_2 \rightarrow \text{BaO} + 2\text{NH}_3 + 5\text{H}_2\text{O}$, за которой следует реакция $\text{NH}_3 + \text{NO}_x \rightarrow \text{N}_2 + \text{yH}_2\text{O}$ или $2\text{NH}_3 + 2\text{O}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ и т.д.).

В реакциях (2)-(5), приведенных выше, реакционно-способные группы, содержащие барий, приведены в виде оксида. Однако следует понимать, что в присутствии воздуха большая часть бария находится в форме карбоната или возможно гидроксида.

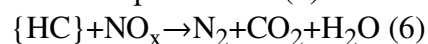
Специалисты в данной области техники могут соответствующим образом применять вышеуказанные схемы реакций бариевых групп, отличных от групп, содержащих оксид бария.

Окислительные катализаторы ускоряют окисление монооксида углерода до диоксида углерода, а несгоревших углеводородов - до диоксида углерода и воды. Типичные окислительные катализаторы включают в себя платину и/или палладий на носителе с высокой удельной поверхностью.

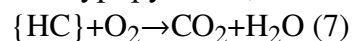
Углеводородные ловушки обычно включают в себя молекулярные сита и могут быть также снабжены катализатором, например металлом платиновой группы, таким как платина или сочетание платины и палладия.

Катализаторы SCR можно выбрать из группы, состоящей по меньшей мере из одного металла: Cu, Hf, La, Au, In, V, лантаноидов и переходных металлов VIII группы, таких как Fe, нанесенного на огнеупорный оксид или молекулярное сито. Подходящие огнеупорные оксиды включают в себя Al₂O₃, TiO₂, CeO₂, SiO₂, ZrO₂ и смешанные оксиды, содержащие два или более из них. Нецеолитовый катализатор также может включать в себя оксид вольфрама, например V₂O₅/WO₃/TiO₂.

Катализаторы обедненных NO_x, иногда также называемые углеводородными SCR-катализаторами, катализаторами DeNO_x или даже катализаторами неселективного каталитического восстановления, включают в себя Pt/Al₂O₃, Cu- Pt-, Fe-, Co- или Ir-обменные ZSM-5, протонированные цеолиты, такие как цеолиты H-ZSM-5 или H-Y, перовскиты и Ag/Al₂O₃. При селективном каталитическом восстановлении (SCR) углеводородами (HC) HC реагируют с NO_x, а не с O₂, с образованием азота, CO₂ и воды согласно Уравнению (6):



конкурирующая, неселективная реакция с кислородом приведена в Уравнении (7):



Поэтому хорошие HC-SCR-катализаторы являются более селективными для реакции (6), чем для реакции (7).

В конкретных вариантах осуществления покрытия катализаторов SCR, катализаторов с ловушкой для углеводородов и катализаторов для обедненных NO_x содержат по меньшей мере одно молекулярное сито, такое как алюмосиликатный цеолит, или SAPO, для улавливания твердых частиц, полученных в двигателе с принудительным

воспламенением. По меньшей мере одно молекулярное сито может представлять собой молекулярное сито, например, с мелкими, средними или крупными порами. Под «молекулярным ситом с мелкими порами» подразумеваются молекулярные сита, содержащие кольца с максимальным размером 8, такие как CHA; под «молекулярным ситом со средними порами» подразумевается молекулярное сито, содержащее кольца с максимальным размером 10, такие как ZSM-5; а под «молекулярным ситом с крупными порами» подразумевается молекулярное сито, содержащее кольца с максимальным размером 12, такие как Бета. Молекулярные сита с мелкими порами потенциально выгодны для использования в SCR-катализаторах, см., например, WO 2008/132452.

Конкретные молекулярные сита с применением в настоящем изобретении выбраны из группы, состоящей из AEI, ZSM-5, ZSM-20, ERI, включая ZSM-34, морденит, феррьерит, BEA, включая Бета, Y, CHA, LEV, включая Nu-3, MCM-22 и EU-1.

В вариантах осуществления молекулярные сита могут быть неметаллизированными или металлизированными по меньшей мере одним металлом, выбранным из группы, состоящей из групп IB, IIB, IIIA, IIIB, VB, VIB, VII и VIII Периодической системы элементов Менделеева. В случае если сита металлизированы, металл можно выбрать из группы, состоящей из Cr, Co, Cu, Fe, Hf, La, Ce, In, V, Mn, Ni, Zn, Ga и благородных металлов Ag, Au, Pt, Pd и Rh. Такие металлизированные молекулярные сита можно использовать в технологии для селективного катализируемого восстановления оксидов азота в выхлопном газе, полученном в результате принудительного воспламенения, с использованием восстановителя. Под термином «металлизированный» понимается включающий в себя молекулярные сита, содержащие один или более металлов, инкорпорированных в раму молекулярного сита, например Fe в раме Бета и Cu в раме CHA. Как было упомянуто выше, там, где восстановитель представляет собой углеводород, технологию иногда называют «селективным каталитическим восстановлением углеводородов (HC-SCR)», «катализом обедненных NO_x » или «катализом DeNO_x », а конкретные металлы для данного применения включают в себя Cu, Pt, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ag, Ce, Ga. Восстановитель углеводородов можно вводить в выхлопной газ с использованием технологий управления двигателями, например режим поздней дополнительной инъекции или режим ранней дополнительной инъекции (так называемый режим «повторной дополнительной инъекции»).

Если восстановитель представляет собой азотосодержащий восстановитель (так называемый « NH_3 -SCR»), металлы, представляющие конкретный интерес, выбраны из группы, состоящей из Ce, Fe и Cu. Подходящие азотосодержащие восстановители включают в себя аммиак. Аммиак может образовываться на месте, например, в ходе обогащающей регенерации NAC, расположенного выше по потоку относительно фильтра, или при приведении в контакт TWC и исходящего из двигателя обогащенного выхлопного газа (см. альтернативы реакциям (4) и (5), приведенным выше). В качестве альтернативы, азотосодержащий восстановитель или его исходный реагент можно впрыскивать непосредственно в выхлопной газ. Подходящие исходные реагенты включают в себя формиат аммония, мочевины и карбаминат аммония. Разложение исходного реагента до аммиака и других побочных продуктов может быть осуществлено за счет гидротермического или каталитического гидролиза.

Плотность упаковки дизельных стенных проточных фильтров при практическом применении может быть отличной от плотности упаковки стенных проточных фильтров, предназначенных для использования в настоящем изобретении, в том, что плотность упаковки дизельных стенных проточных фильтров обычно составляет 300 элементов

на квадратный дюйм (cpsі) или менее, например 100 или 200 cpsі, вследствие чего относительно более крупные компоненты дизельных твердых частиц могут входить во впускные каналы фильтра без уплотнения на твердой фронтальной поверхности дизельного фильтра для задержания частиц примесей, что тем самым приводит к загустеванию и закупориванию доступа к открытым каналам, тогда как стенные проточные фильтры, предназначенные для использования в настоящем изобретении, могут иметь плотность упаковки до 300 cpsі или более, такую как 350 cpsі, 400, cpsі, 600 cpsі, 900 cpsі или даже 1200 cpsі.

Преимущество использования более высоких плотностей упаковки элементов состоит в том, что фильтр может иметь меньшее поперечное сечение, например диаметр, чем дизельные фильтры для задержания частиц примесей, которые имеют практическое преимущество, состоящее в том, что улучшаются проектные решения для размещения выхлопных систем на транспортном средстве.

Согласно другому аспекту, изобретение обеспечивает двигатель с принудительным воспламенением топлива, содержащий выхлопную систему согласно изобретению, и транспортное средство, содержащее такой двигатель с принудительным воспламенением топлива. В предпочтительном варианте осуществления двигатель с принудительным воспламенением топлива представляет собой двигатель с прямым впрыскиванием топлива с принудительным воспламенением топлива.

Согласно еще одному аспекту изобретение обеспечивает способ улавливания и сжигания твердых частиц (РМ) из выхлопного газа, выпускаемого из двигателя с принудительным воспламенением топлива, путем глубокой фильтрации, включающий направление выхлопного газа, содержащего РМ, в выхлопную систему, приведение в контакт выхлопного газа, содержащего РМ, с покрытием тройного катализатора, расположенным на монолите подложки внутри выхлопной системы, приведение выхлопного газа, содержащего РМ, с фильтром в выхлопной системе ниже по потоку относительно монолита подложки тройного катализатора, причем фильтр содержит пористую подложку, имеющую поверхности впуска и выпуска, при этом поверхности впуска отделены от поверхностей выпуска пористой структурой, содержащей поры с первым средним размером пор, при этом пористая подложка покрыта покрытием тройного катализатора, содержащим множество твердых частиц, причем пористая структура покрытой пористой подложки содержит поры со вторым средним размером пор, и при этом второй средний размер пор меньше чем первый средний размер пор, причем масса покрытия тройного катализатора на монолите подложки составляет $\leq 75\%$ от общей массы покрытия тройного катализатора в выхлопной системе.

Для того чтобы изобретение можно было понять в более полном объеме, следует обратиться к прилагаемым чертежам, на которых:

Фиг.1 представляет собой график, показывающий распределения размеров твердых частиц в выхлопном газе дизельного двигателя. Для сравнения, на фиг.4 показано распределение размеров частиц бензина согласно SAE 1999-01-3530;

Фиг.2А-С схематично показывают чертежи по трем вариантам осуществления пористых подложек фильтра с нанесенной реактивной грунтовой согласно изобретению;

Фиг.3 представляет собой схематичный график, полученный путем ртутной порометрии, относящийся к распределению пор по размерам для пористой подложки фильтра, пористого слоя покрытия и пористой подложки фильтра, включающей в себя пористый поверхностный слой покрытия;

Фиг.4 представляет собой таблицу, показывающую зависимость размера пор подложки стенного проточного фильтра от загрузки покрытия, указывающей на

пригодность покрытого стенного проточного фильтра для использования в транспортной системе последующей обработки бензинового выхлопного газа; и

Фиг.5 представляет собой схематичный чертеж выхлопной системы согласно изобретению.

5 Фиг.2А-С показывают поперечное сечение через пористую подложку фильтра 10, содержащую поверхностные поры 12. Фиг.2 показывает первый вариант осуществления, характеризующийся наличием пористого поверхностного слоя 14 покрытия, состоящего из твердых частиц покрытия, и пространства между этими частицами образуют поры (межчастичные поры). Видно, что слой 14 покрытия по существу покрывает поры 12
10 пористой структуры, и что средний размер межчастичных пор 16 меньше, чем средний размер пор 12 пористой подложки 10 фильтра.

Фиг.2В показывает второй вариант осуществления, включающий в себя покрытие, нанесенное на поверхность 16 впуска, а дополнительно - внутри пористой структуры 12 пористой подложки 10. Видно, что слой 14 покрытия вызывает сужение отверстий
15 поверхностных пор 12, так что средний размер пор 18 покрытой пористой подложки становится меньше, чем средний размер пор 12 пористой подложки 10 фильтра.

Фиг.2С показывает третий вариант осуществления, в котором покрытие 14 по существу попадает внутрь, т.е., проникает в пористую 12 структуру пористой подложки 10.

20 Фиг.3 показывает иллюстрацию графика, относящегося к размеру пор, к количеству пор для пористой подложки 20 фильтра, пористому слою 22 покрытия и пористой подложке дизельного фильтра, включающей в себя поверхностный слой 24 покрытия. Видно, что подложка фильтра имеет средний размер пор порядка примерно 15 мкм. Слой покрытия имеет бимодальное распределение, содержащее межчастичные поры
25 22А (на нанометрическом конце диапазона) и межчастичные поры 22В, ближе к микрометрическому концу шкалы. Также видно, что при покрытии пористой подложки фильтра покрытием согласно изобретению распределение пор открытой подложки фильтра смещается в направлении межчастичных размеров пор покрытия (см. стрелку).

Фиг.5 показывает устройство 10 согласно изобретению, содержащее транспортный
30 двигатель 12 с принудительным воспламенением топлива и его выхлопную систему 14. Выхлопная система 14 содержит трубку 16, соединяющую компоненты каталитической дополнительной обработки, а именно TWC на основе Pd-Rh, нанесенный на инертную металлическую проточную подложку 18, расположенную близко к выхлопному патрубку двигателя (так называемая близко связанная позиция). Ниже по потоку относительно
35 близко связанного катализатора 18, в свою очередь, находится TWC на основе Pd-Rh, нанесенный при загрузке $1,6 \text{ г/дюйм}^3$ на керамический стенной проточный фильтр 20, имеющий средний размер пор 20 мкм, подвешенный под транспортным средством в так называемом положении под полом.

При использовании система выигрывает от низкотемпературной активности
40 отключения близко связанного TWC 18, расположенного в местоположении, где он может быстро достичь активной температуры, вслед за запуском. Однако, скорее чем для конверсии несгоревших углеводородов, монооксида углерода и оксидов азота до уровня, необходимого для соответствия подходящему стандарту Евро V по выбросам, TWC 18 выполнен с возможностью пропускания достаточного количества горючих
45 компонентов выбросов, таких как монооксид углерода и несгоревшие углеводороды, таким образом, чтобы последующая конверсия пропущенных горючих компонентов на стенном проточном фильтре 20, снабженном тройным катализатором, порождала достаточный экзотермический эффект для сжигания твердых частиц, удерживаемых на

5 фильтре, будь то в ходе непрерывного, или в ходе по меньшей мере единоразового ездового цикла, такого как Европейский ездовой цикл MVEG-B. В этом варианте осуществления TWC 18 сконфигурирован с использованием полноразмерного объема близко связанного монолита подложки (100% от рабочего объема двигателя), покрытого TWC с тем же полным составом, что и у TWC, который нанесен на нижний по потоку 5 стеной проточный фильтр 20, но при более низкой загрузке покрытия, чем обычно используется для близко связанного TWC, например 2,0 г/дюйм³.

10 Фиг.4 иллюстрирует таблицу, показывающую предварительные результаты для исследования загрузки покрытия для покрытия TWC на трех стеной проточных фильтрах, имеющих различные средние размеры пор. В заключение следует сказать, что существует диапазон приемлемых противодавлений, и фильтрация происходит начиная с сочетания среднего размера пор стеной проточного фильтра, равного 13 мкм, и относительно низкой загрузки покрытия (0,4 г/дюйм³) и размеров пор подложки 15 от 20 до 13 мкм, с загрузкой от 0,8 г/дюйм³ до 1,6 и 2,4 г/дюйм³ на подложках со средним размером пор от 38 до 20 мкм.

Однако эта таблица для использования TWC для приемлемой активности TWC в автономном продукте перекрывается тем, что предпочтительными являются загрузки 20 покрытия >1,6 г/дюйм³. Изобретение позволяет сочетать достаточную активность TWC и фильтрацию РМ, которые достигаются без значительного повышения противодавления. Повышенные загрузки покрытия можно использовать только на подложках стеной проточного фильтра с более низким средним размером пор в применениях, при которых может допускаться повышенное противодавление. Что 25 касается фиг.4, то тогда как в определенных применениях, где может допускаться повышение противодавления, подложки стеной проточного фильтра со средним размером пор 13 мкм можно использовать в сочетании с загрузкой покрытия >1,6 г/дюйм³, в настоящее время предпочтительно для загрузок >1,6 г/дюйм³ использовать 30 средний размер пор >20 мкм для достижения требуемого баланса между активностью катализатора, фильтрацией и противодавлением. Выгода от изобретения состоит в том, что TWC согласно существующему уровню техники, содержащие подложку проточного монолита, то есть, обычно расположенную на транспортном средстве либо под полом, либо в близко связанном местоположении, можно заменить фильтром согласно изобретению, для обеспечения достаточной активности тройного катализатора, 35 отвечающего законодательным требованиям для выбросов газообразных НС, СО и NO_x, а также отвечающего стандартам по количеству частиц в соответствии с требованиями, например, стандартов Евро 6.

40 Фильтр согласно изобретению очевидно можно использовать в сочетании с другими компонентами для дополнительной обработки выхлопной системы, для обеспечения всего устройства дополнительной обработки выхлопной системы, например, TWC с низкой термической массой выше по потоку относительно фильтра и/или ниже по потоку относительно каталитических элементов, например монолита подложки, содержащего ловушку для NO_x, или катализатора SCR в соответствии со специальными требованиями. Так, в транспортных применениях с принудительным воспламенением 45 топлива, в которых возникают относительно низкие температуры выхлопного газа в ходе ездового цикла, предполагается использование катализатора TWC с низкой термической массой, расположенного выше по потоку относительно фильтра согласно изобретению. Для транспортных применений сжигания обедненной топливной смеси

с принудительным воспламенением топлива рассматривается использование фильтра согласно изобретению выше или ниже по потоку относительно монолита подложки, содержащего ловушку для NO_x .

Дополнительное новое требование к TWC состоит в необходимости обеспечения диагностической функции для его эксплуатационной долговечности, так называемой «бортовой диагностики» (OBD). Проблема в OBD возникает при недостаточной способности к сохранению кислорода в TWC, поскольку в технологиях OBD для TWCs используется способность к сохранению остаточного кислорода для диагностики остаточной функции катализатора. Однако при недостаточной загрузке покрытия на фильтре, такой как раскрытая в конкретных Примерах, приведенных в US 2009/0193796 и WO 2009/043390, для обеспечения точной «дельты» OSC в целях OBD имеющегося OSC может оказаться недостаточно. Поскольку настоящее изобретение обеспечивает наличие загрузок покрытия, приближающихся к загрузкам существующих TWC, соответствующих текущему уровню техники, в текущих технологиях OBD можно успешно применять фильтры, предназначенные для использования в настоящем изобретении.

Для того чтобы изобретение можно было понять в более полном объеме, здесь приведены следующие Примеры, представленные лишь для иллюстрации. Загрузки покрытия, приведенные в Примерах, были получены с использованием способа, раскрытого в WO 99/47260, описанного выше и состоящего в том, что половина покрытия была нанесена с одного конца, а остальная половина покрытия была нанесена с другого конца, т.е., все покрытие не было нанесено только на впускные или только выпускные каналы фильтра, а на оба - впускные и выпускные каналы фильтра.

Пример 1

Два покрытия TWC были приготовлены при загрузке покрытия $2,4 \text{ г/дюйм}^3$ и загрузке благородного металла 85 г/фут^3 (соотношение Pd:Rh составляет 16:1); она была измельчена до частиц с мелким размером ($d_{90} < 5 \text{ мкм}$), которые, как и ожидалось, попадают в пористую структуру стенного проточного фильтра (фильтра «в стене»), тогда как другое покрытие было измельчено в меньшей степени ($d_{90} < 17 \text{ мкм}$) вследствие чего, как можно ожидать, является предпочтительным размещать его в большей мере на поверхности стенки стенного проточного фильтра (размещение «на стенке»). Покрытия были нанесены на кордиеритовые подложки стенного проточного фильтра площадью $4,66 \times 4,5$ дюймов с плотностью упаковки элементов 300 элементов на квадратный дюйм и толщиной стенок 12 тысячных дюйма («300/12»), с номинальным средним размером пор 20 микрон (здесь и далее называемых «микрон») (пористость 62%). Каждый фильтр был подвергнут гидротермическому тепловому старению при 980°C в течение 4 часов и вставлен в близко связанное местоположение на легковом автомобиле Евро 5 с 1,4-литровым бензиновым двигателем с прямым впрыском топлива. Каждый фильтр был оценен минимум по трем ездовым циклам MVEG-B, для него было измерено снижение количества частиц в выбросах, по сравнению с эталонным катализатором, причем фильтр был заменен на TWC, нанесенный на проточный монолит подложки при тех же загрузках покрытия и благородного металла, а между датчиками, закрепленными выше и ниже по потоку относительно фильтра (или эталонного катализатора), был определен перепад противодавлений.

В Европе, начиная с 2000 г., проводится тестирование выбросов (стандарт по выбросам Евро 3) по Новому европейскому ездовому циклу (NEDC). Это тестирование состоит из четырех повторов предыдущего ездового цикла ECE 15 плюс один

внегородской ездовой цикл (EUDC), без какого-либо 40-секундного периода нагрева перед началом отбора выбросов. Это модифицированное испытание на запуск холодного двигателя также называется ездовым циклом «MVEG-B». Все выбросы выражены в г/км.

- 5 Имплементирующее законодательство Евро 5/6 вводит новый способ измерения массы РМ в выбросах, разработанный согласно программе измерения твердых частиц (РМР) UN/ECE, которая регулирует лимиты массы выбросов РМ для учета разностей в результатах с использованием старых и новых способов. Законодательство Евро 5/6 также вводит в дополнение к лимитам, основанным на массе, лимит по количеству
- 10 частиц в выбросах (способ РМР).

- Результаты, приведенные в Таблице 1, демонстрируют, что фильтры, приготовленные с покрытием «на стенке», с более крупным размером частиц, обладают свойствами значительно более высокого сокращения количества частиц, чем фильтры, приготовленные с покрытием «в стенке», с меньшим размером частиц, с небольшим, но
- 15 приемлемым повышением максимального противодавления.

Таблица 1 Влияние расположения покрытия внутри фильтра на снижение количество частиц и противодавление (BP)				
Свойства образцового фильтра	Тип покрытия	% снижения PN по сравнению с проточным эталоном	Среднее барометрическое давление (мбар) на ездовом цикле MVEG-B при 70 км/ч	Максимальное барометрическое давление (мбар) в ходе любого одного ездового цикла MVEG-B
20 мкм, 62%	«В стенке»	75	14,3	73,5
20 мкм, 62%	«На стенке»	83	16,2	104,2

Пример 2

- Кордиеритовые подложки стенного проточного фильтра площадью 5,66×3 дюймов с плотностью упаковки элементов 300 элементов на квадратный дюйм и толщиной
- 25 стенок 12 тысячных дюйма (приблизительно 0,3 мм) были покрыты покрытием TWC при загрузке покрытия of 0,8 г/дюйм³ и при загрузке палладия 80 г/фут³. Были сопоставлены три пористые структуры: с номинальным средним размером пор, равным 38 микрон, при пористости 65%, с номинальным средним размером пор, равным 20
- 30 микрон, при пористости 62% и с номинальным средним размером пор, равным 15 микрон, при пористости 52%. Каждый фильтр был подвергнут гидротермическому тепловому старению при 980°C в течение 4 часов и установлен в местоположении под полом на легковом автомобиле Евро 4 с 1,4-литровым бензиновым двигателем с прямым впрыском топлива, с полностью укомплектованным TWC, нанесенным на проточный
- 35 монолит подложки, расположенный в близко связанной позиции, т.е., выше по потоку относительно фильтра. Каждый фильтр был оценен минимум по трем ездовым циклам MVEG-B путем измерения снижения количества частиц в выбросах по сравнению с эталонной системой, в которой фильтр, расположенный под полом, был заменен на TWC, нанесенный на проточный монолит подложки при идентичных загрузках покрытия
- 40 и палладия, а между датчиками, закрепленными выше по потоку относительно близко связанного TWC и ниже по потоку относительно фильтров (или эталонного катализатора) был определен перепад противодавлений. Максимальные результаты по противодавлению, приведенные в Таблице 2, представляют собой противодавление, охватывающее третий повтор цикла MVEG-B.

- Результаты в Таблице 2 демонстрируют, что 38-микронный фильтр обладает
- 45 значительно более низкими уровнями количества удаленных частиц (недостаточными для применения в этом транспортном средстве) даже и при минимальном противодавлении. 20-микронный фильтр показал приемлемые уровни по снижению количества частиц, с умеренным повышением противодавления. 15-микронный фильтр

был наиболее эффективным при снижении количества частиц в выбросах, но обладал значительно более высоким противодавлением, чем вариант осуществления 20-микронного фильтра.

Таблица 2

Сопоставление снижения количества частиц и противодействия (BP) для фильтров с различными размерами пор

Свойства образцового фильтра	% снижения PN по сравнению с проточным эталоном	Среднее барометрическое давление (мбар) на ездовом цикле MVEG-B при 70 км/ч	Максимальное барометрическое давление (мбар) в ходе любого одного ездового цикла MVEG-B
38 мкм, 65%	18	7,5	52,5
20 мкм, 62%	85	12,1	68,9
15 мкм, 52%	92	18,8	97,5

Пример 3

Кордиеритовые подложки стенного проточного фильтра площадью 4,66×4,5 дюймов, 300/12, с номинальным средним размером пор, равным 20 микрон, и пористостью 62% были покрыты TWC при нагрузках покрытия, соответственно, 0,8, 1,6 и 2,4 г/дюйм³.

Каждый образец имел загрузку благородного металла 85 г/фут³ (Pd:Rh 16:1). Каждый фильтр был подвергнут тепловому старению при 980°C в течение 4 часов и установлен в близко связанной позиции на легковом автомобиле Евро 4 с 1,4-литровым бензиновым двигателем с прямым впрыском топлива. Каждый фильтр был оценен минимум по трем ездовым циклам MVEG-B путем измерения снижения количества частиц в выбросах по сравнению с эталонным катализатором, в котором близко связанный фильтр был заменен на TWC, нанесенный на проточный монолит подложки при идентичной загрузке покрытия и благородного металла, а перепад противодействия и коэффициент нейтрализации для газообразных выбросов HC, CO и NO_x были определены между датчиками, закрепленными выше и ниже по потоку относительно фильтра (или эталонного катализатора). В Таблице 3 сообщается только о конверсии углеводородов, не относящихся к гомологическому ряду метана (NMHC) (NMHC для Евро 6 составляет 68 мг/км в пределах общего количества выбросов по углеводородам 100 мг/км).

Результаты в Таблице 3 демонстрируют, что фильтр, приготовленный с загрузкой покрытия 0,8 г/дюйм³, обладал значительно более низкими уровнями количества удаленных частиц и минимальным коэффициентом нейтрализации NMHC. Такой кпд TWC не может быть достаточным, чтобы отвечать лимитам Евро 6 по газообразным выбросам для типичного легкового автомобиля. Повышение загрузки покрытия до 1,6 и 2,4 г/дюйм³ привело к большему снижению количества частиц в выбросах, даже несмотря на повышение, хотя и приемлемое, противодействия. Активность TWC (как представлено в Таблице 3 по кпд NMHC) также была значительно повышена с повышением загрузок покрытия.

Таблица 3

Сопоставление снижения количества частиц, противодействия (BP) и активности TWC при различных нагрузках покрытия

Свойства образцового фильтра	% снижения PN по сравнению с проточным эталоном	Среднее барометрическое давление (мбар) на ездовом цикле MVEG-B при 70 км/ч	Максимальное барометрическое давление (мбар) в ходе любого одного ездового цикла MVEG-B	% NMHC согласно Евро 6, прикладная контрольная цифра [†]
0,8	53	7,7	51	110
1,6	63	10,1	65	88
2,4	67	18,7	100	81

[†] Термин «прикладная контрольная цифра» («engineering target») часто используется изготовителями транспортных средств и отображает процентное содержание законодательно разрешенных выбросов. В целях настоящих Примеров используется

прикладная контрольная цифра, равная 80%. Поскольку стандарт Евро 6 для NMHC составляет 68 мг/км, прикладная контрольная цифра составляет 54 мг/км. Рассчитанную долю от этой величины используют для оценки снижения результатов NMHC, достигаемых при ездовом цикле MVEG-B. Это приводит к значениям выше и ниже 100%, которые хорошо соотносятся с приемлемой активностью TWC.

Пример 4

Кордиеритовые подложки стенного проточного фильтра площадью 4,66×4,5 дюймов, 300/12, с плотностью упаковки элементов 300 элементов на квадратный дюйм и толщиной стенок приблизительно 0,3 мм были покрыты покрытием TWC при загрузке покрытия 1,6 г/дюйм³ и при загрузке благородного металла 85 г/фут³ (Pd:Rh 16:1). Были сопоставлены две пористые структуры: с номинальным средним размером пор, равным 38 микрон, при пористости 65% и с номинальным средним размером пор, равным 20 микрон, при пористости 62%. Образец с меньшими порами не был оценен, поскольку из результатов, полученных в Примере 2, ожидалось, что противодействие будет слишком большим для легковой автомобиля Евро 4 при этом испытании. Каждый фильтр был подвергнут гидротермическому тепловому старению при 980°C в течение 4 часов и установлен в близко связанной позиции на легковом автомобиле Евро 4 с 1,4-литровым бензиновым двигателем с прямым впрыском топлива. Каждый фильтр был оценен минимум по трем ездовым циклам MVEG-B путем измерения снижения количества частиц в выбросах по сравнению с эталонным катализатором, в котором близко связанный фильтр был заменен на TWC, нанесенный на проточный монолит подложки при идентичной загрузке покрытия и благородного металла, а перепад противодействия и коэффициент нейтрализации для газообразных выбросов HC, CO и NO_x были определены между датчиками, закрепленными выше и ниже по потоку относительно фильтра (или эталонного катализатора). В Таблице 4 сообщается только о конверсии углеводородов, не относящихся к гомологическому ряду метана (non-methane hydrocarbons conversion, NMHC).

Результаты, приведенные в Таблице 4, демонстрируют, что 38-микронный фильтр обладал значительно более низкими уровнями удаления частиц (недостаточными для этого транспортного применения) и более низким противодействием, что может быть приемлемым в других транспортных применениях. 20-микронный фильтр давал приемлемые уровни по снижению количества частиц, с умеренным повышением противодействия. Оба образца обладали хорошей активностью TWC при загрузке покрытия 1,6 г/дюйм³.

Таблица 4

Сопоставление снижения количества частиц, противодействия (BP) и активности TWC для фильтров с различными размерами пор

Свойства образцового фильтра	% снижения PN по сравнению с проточным эталоном	Среднее барометрическое давление (мбар) на ездовом цикле MVEG-B при 70 км/ч	Максимальное барометрическое давление (мбар) в ходе любого одного ездового цикла MVEG-B	% NMHC согласно Евро 6, прикладная контрольная цифра [†]
38 мкм, 65%	34	5,9	43,4	88
20 мкм, 62%	63	10,1	65	88

[†]См. Подстрочное примечание к Таблице 3.

Пример 5

Кордиеритовые подложки стенного проточного фильтра площадью 4,66×4,5 дюймов, 300/12, с плотностью упаковки элементов 300 элементов на квадратный дюйм и толщиной стенок приблизительно 0,3 мм были покрыты покрытием TWC при загрузке покрытия 2,4 г/дюйм³ и при загрузке благородного металла 85 г/фут³ (Pd:Rh 16:1). Были

сопоставлены две пористые структуры: с номинальным средним размером пор, равный 38 микрон, при пористости 65% и с номинальным средним размером пор, равным 20 микрон, при пористости 62%. Образец с меньшими порами не был оценен, поскольку из результатов, полученных в Примере 2, ожидалось, что противодавление будет
слишком большим для легкового автомобиля Евро 5 при этом испытании. Каждый
фильтр был подвергнут гидротермическому тепловому старению при 980°C в течение
4 часов и установлен в близко связанной позиции на легковом автомобиле Евро 5 с 1,4-
литровым бензиновым двигателем с прямым впрыском топлива. Фильтры были оценены
минимум по трем ездовым циклам MVEG-B путем измерения снижения количества
частиц в выбросах по сравнению с эталонным катализатором, в котором близко
связанный фильтр был заменен на TWC, нанесенный на проточный монолит подложки
при идентичной загрузке покрытия и благородного металла, а перепад противодавления
и коэффициент нейтрализации для газообразных выбросов HC, CO и NO_x были
определены между датчиками, закрепленными выше и ниже по потоку относительно
фильтра (или эталонного катализатора). В Таблице 5 сообщается только о конверсии
углеводородов, не относящихся к гомологическому ряду метана (NMHC).

Результаты в Таблице 5 демонстрируют, что 38-микронный фильтр обладал
значительно более низкими уровнями удаления частиц (недостаточным для этого
транспортного применения) и более низким противодавлением, что может быть
приемлемым в других транспортных применениях. 20-микронный фильтр показал
приемлемые уровни по снижению количества частиц, с умеренным повышением
противодавления. Оба образца обладали хорошей активностью TWC при загрузке
покрытия 2,4 г/дюйм³. Оба образца продемонстрировали большее снижение количества
частиц и повышенное противодавление, по сравнению с образцами с загрузкой покрытия
1,6 г/дюйм³, описанными в Примере 4.

Таблица 5

Сопоставление снижения количества частиц, противодавления (BP) и активности TWC для фильтров с различными размерами пор

Свойства образцового фильтра	% снижения PN по сравнению с проточным эталоном	Среднее барометрическое давление (мбар) на ездовом цикле MVEG-B при 70 км/ч	Максимальное барометрическое давление (мбар) в ходе любого одного ездового цикла MVEG-B	% NMHC согласно Евро 6, прикладная контрольная цифра [†]
38 мкм, 65%	50	7,4	44,1	44
20 мкм, 62%	75	14,3	73,5	53

[†]См. Подстрочное примечание к Таблице 3.

Пример 6

Кордиеритовые подложки стенного проточного фильтра площадью 118×60 мм, с плотностью упаковки элементов 360 элементов на квадратный дюйм, имеющие толщину стенок элементов 5 тысячных дюйма (360/5), с номинальным средним размером пор, равным 13 микрон, и пористостью 48% были покрыты покрытием TWC при загрузках
покрытия 0,4 и 0,8 г/дюйм³. Каждый образец имел загрузку благородного металла 85
г/фут³ (Pd:Rh 16:1). Более высокие загрузки покрытия не были оценены, поскольку
ожидалось, что результирующее противодавление будет слишком большим для
легкового автомобиля Евро 4 при этом испытании. Свежий (т.е., не подвергнутый
старению) фильтр был установлен в близко связанной позиции на легковом автомобиле
Евро 4 с 1,4-литровым бензиновым двигателем с прямым впрыском топлива. Каждый
фильтр был оценен минимум по трем ездовым циклам MVEG-B путем измерения
снижения количества частиц в выбросах по сравнению с эталонным катализатором, в

котором близко связанный фильтр был заменен на TWC, нанесенный на проточный монолит подложки при идентичной загрузке покрытия и благородного металла, а перепад противодавления и коэффициент нейтрализации для газообразных выбросов HC, CO и NO_x были определены между датчиками, закрепленными выше и ниже по потоку относительно фильтра (или эталонного катализатора). В Таблице 6 сообщается только о конверсии углеводородов, не относящихся к гомологическому ряду метана (NMHC).

Результаты в Таблице 6 демонстрируют, что 13-микронный фильтр, приготовленный с загрузкой покрытия 0,8 г/дюйм³, показал умеренные уровни удаления частиц (пограничные для этого транспортного применения), но имел крайне высокое противодавление. Снижение загрузки покрытия до 0,4 г/дюйм³ привело к более приемлемому противодавлению, но меньшему снижению количества частиц в выбросах. Такие низкие уровни покрытия, как ожидалось, не могут привести к активности TWC, достаточной для соответствия стандартам Евро 6 по выбросам.

Таблица 6 Сопоставление снижения количества частиц и противодавления (ВР) при различных загрузках покрытия			
Свойства образцового фильтра	% снижения PN по сравнению с проточным эталоном	Среднее барометрическое давление (мбар) на ездовом цикле MVEG-B при 70 км/ч	Максимальное барометрическое давление (мбар) в ходе любого одного ездового цикла MVEG-B
0,4	50	11,3	78,4
0,8	54	45,2	211,8

Пример 7

Пассажирский автомобиль Евро 5 с 2,0-литровым бензиновым двигателем с прямым впрыском топлива был снабжен полностью укомплектованным TWC, нанесенным на проточный монолит подложки в близко связанной позиции, был протестирован согласно ездовым циклам MVEG-B и FTP (Федеральный метод определения токсичности) 75. Количество частиц, выпускаемых во время ездового цикла MVEG-B, было измерено согласно методологии RMP. Масса твердых частиц, выпускаемых во время ездового цикла FTP 75, была измерена в соответствии со стандартными протоколами. Кордиеритовый стенной проточный фильтр площадью 125×120 мм, 300/12, с номинальным средним размером пор, равным 12 микрон, и пористостью 55%, покрытый покрытием TWC при загрузке покрытия 0,8 г/дюйм³ и загрузке благородного металла 20 г/фут³ (Pd:Rh 3:1) затем был помещен в позицию под полом, т.е., ниже по потоку относительно проточного монолита подложки. Измерения массы частиц и количества выбросов были повторены.

Результаты в Таблице 7 демонстрируют, что установка дополнительного покрытого фильтра снизила количество частиц в выбросах во время цикла MVEG-B на ~99% и снизила массу частиц, выпускаемых в ходе цикла FTP 75 на ~75%, только относительно системы проточного TWC. В зависимости от того, какой стандарт CARB по содержанию РМ в выбросах принят, показатель 2,7 мг РМ на милю может попадать в этот стандарт.

Таблица 7 Влияние установки фильтра на количество и массу частиц в выбросах		
Система катализатора	Выбросы PN в ходе ездового цикла MVEG-B (#/км)	Выбросы PN в ходе ездового цикла FTP 75 (мг/миля)
Только проточный TWC	4,42×10 ¹²	2,7
Проточный TWC + покрытый фильтр	4,69×10 ¹⁰	0,6

Пример 8

Было продемонстрировано изобретение с использованием запатентованного кинетического тройного катализатора и моделей фильтра. В моделях использованы коэффициенты кинетической реакции, спецификации подложки и покрытия, а также эмпирически измеренные температуры выхлопного газа на выходе из двигателя и концентрации компонентов выхлопного газа, полученные из испытаний выбросов согласно Европейскому циклу MVEG-B, для предсказания температур катализатора и выхлопных выбросов на транспортном средстве. Для этого эксперимента выбросы из двигателя и температуры, полученные из испытаний Евро 5, соответствующие 1,4-литровому бензиновому двигателю с прямым впрыскиванием топлива, были использованы в качестве входных данных для моделирования систем, подвергнутых старению, содержащих близко связанный проточный тройной катализатор, заменяемый расположенным под полом транспортного средства тройным катализатором, нанесенным на бензиновый фильтр (керамический стенной проточный фильтр, имеющий плотность 300 элементов на квадратный дюйм, средний диаметр пор 20 микрон, пористость 64%; круглое поперечное сечение, диаметр 118,4 мм и длину 114,3 мм; загрузку покрытия 2,4 г/дюйм³; 16Pd:Rh при 85 г/фут³). Система, содержащая серийно выпускаемый 1,25-литровый (400 элементов на квадратный дюйм, в круге поперечное сечение с диаметром 118,4 мм, осевой длиной 114,3 мм) близко связанный тройной катализатор (90% от рабочего объема двигателя; также 19Pd:Rh при 60 г/фут³; 3,5 г/дюйм³ загрузки покрытия), была сопоставлена с 0,625-литровым катализатором (45% от рабочего объема двигателя), имеющим тот же состав и загрузку металлов платиновой группы и плотность элементов подложки и диаметр, но при половине длины (57,15 мм) 1,25-катализатора (обычно 1,25-литрового близко связанного тройного катализатора, разрезанного пополам по его осевой длине).

В ходе внегородской части Европейского ездового цикла ((EUDC), начиная с 1000 секунд, половина объема TWC пропускала углеводороды при скорости более чем в пять раз большей, чем у серийно выпускаемых TWC (см. Таблица 8). С помощью модели было предсказано, что пропускание дополнительного количества углеводородов через половину TWC может генерировать больший экзотермический эффект, при конверсии углеводородов в нижнем по потоку фильтре, с повышением максимальных температур слоя катализатора от 515°C (для серийно выпускаемого 1,25-литрового близко связанного TWC) до 540°C (см. Таблицу 8). Авторы изобретения сделали вывод, что это повышение температуры может обеспечить полезное преимущество при пассивной регенерации сажи, накопленной в фильтре в условиях избытка кислорода, таких как отсечение подачи топлива.

Серийно выпускаемый, близко связанный TWC (1,25 л) содержал 59% от общей массы покрытия TWC в выхлопной системе, т.е., в пределах заданного диапазона, тогда как масса покрытия половины объема близко связанного TWC содержала 42% от общей массы покрытия TWC в выхлопной системе. Из динамики изменения выявляемой максимальной температуры под полом транспортного средства для этих двух фильтров видно, что повышение массы покрытия TWC в близко связанном TWC относительно общей массы покрытия TWC в выхлопной системе снижает максимальную температуру фильтра, расположенного под полом. Эти данные в значительной мере указывают на то, что масса покрытия тройного катализатора на расположенном выше по потоку монолите подложки составляла >75% от общей массы покрытия тройного катализатора в выхлопной системе, а максимальная температура фильтра под полом может быть еще ниже, чем для серийно выпускаемого 1,25-литрового TWC.

Таблица 8

Влияние снижения объема близко связанного катализатора TWC на максимальную температуру сажевого фильтра под полом бензинового транспортного средства.

Объем близко связанного TWC	Скорость течения общего количества углеводородов (Total Hydrocarbon, THC) после прохождения близко связанного TWC	Максимальная температура сажевого фильтра под полом бензинового транспортного средства при 120 км/ч (часть EUDC ездового цикла MVEG-B)
1,25 литров	0,363 мг/с	515°C
0,625 литров	1,886 мг/с	540°C

Во избежание каких-либо сомнений, полное содержание всех документов согласно уровню техники, приведенных в настоящем документе, включено сюда путем ссылки.

Формула изобретения

1. Выхлопная система двигателя внутреннего сгорания с принудительным воспламенением топлива транспортного средства, содержащая фильтр для фильтрования твердых частиц от выхлопного газа, выпускаемого из двигателя, при этом фильтр содержит пористую подложку, имеющую поверхности впуска и поверхности выпуска, причем поверхности впуска отделены от поверхностей выпуска пористой структурой, содержащей поры с первым средним размером пор, при этом пористая подложка покрыта покрытием тройного катализатора, содержащим множество твердых частиц, причем пористая структура покрытой пористой подложки содержит поры со вторым средним размером пор, и при этом второй средний размер пор меньше первого среднего размера пор, а покрытие тройного катализатора находится на отдельном монолите подложки, расположенном выше по потоку относительно фильтра, причем масса покрытия тройного катализатора на расположенном выше по потоку монолите подложки составляет $\leq 75\%$ от общей массы покрытия тройного катализатора в выхлопной системе.

2. Выхлопная система по п.1, в котором масса покрытия тройного катализатора на расположенном выше по потоку монолите подложки составляет $\leq 70\%$ от общей массы покрытия тройного катализатора в системе.

3. Выхлопная система по п.1 или 2, в которой отдельный монолит подложки, расположенный выше по потоку относительно фильтра, является проточным монолитом подложки.

4. Выхлопная система по п.1 или 2, в которой первый средний размер пор пористой структуры пористой подложки составляет от 8 до 45 мкм.

5. Выхлопная система по п.1 или 2, в которой загрузка покрытия на фильтре составляет $>0,50 \text{ г/дюйм}^3$.

6. Выхлопная система по п.1 или 2, содержащая поверхностное покрытие, причем слой покрытия по существу покрывает поверхностные поры пористой структуры, а поры покрытой пористой подложки образованы частично пространствами между частицами (межчастичные поры) в покрытии.

7. Выхлопная система по п.6, в которой средний размер межчастичных пор пористого покрытия составляет 5,0 нм - 5,0 мкм.

8. Выхлопная система по п.1, в которой средний размер твердых частиц покрытия больше первого среднего размера пор.

9. Выхлопная система по п.8, в которой средний размер твердых частиц покрытия составляет от 1 до 40 мкм.

10. Выхлопная система по п.1 или 2, в которой поры на поверхности пористой структуры содержат отверстия пор, а покрытие вызывает сужение по существу всех отверстий поверхностных пор.

11. Выхлопная система по п.1 или 2, в которой покрытие находится по существу внутри пористой структуры пористой подложки.

12. Выхлопная система по п.10, в которой средний размер твердых частиц покрытия меньше среднего размера пор пористой подложки.

5 13. Выхлопная система по п.11, в которой средний размер твердых частиц покрытия меньше среднего размера пор пористой подложки.

14. Выхлопная система по п.1 или 2, в которой покрытие нанесено на поверхности впуска, поверхности выпуска или как на поверхности впуска, так и на поверхности выпуска.

10 15. Выхлопная система по п.1 или 2, в которой пористая подложка представляет собой керамический стенной проточный фильтр, металлический фильтр или керамическую пену.

16. Двигатель с принудительным воспламенением топлива, содержащий выхлопную систему по любому из пп.1-15.

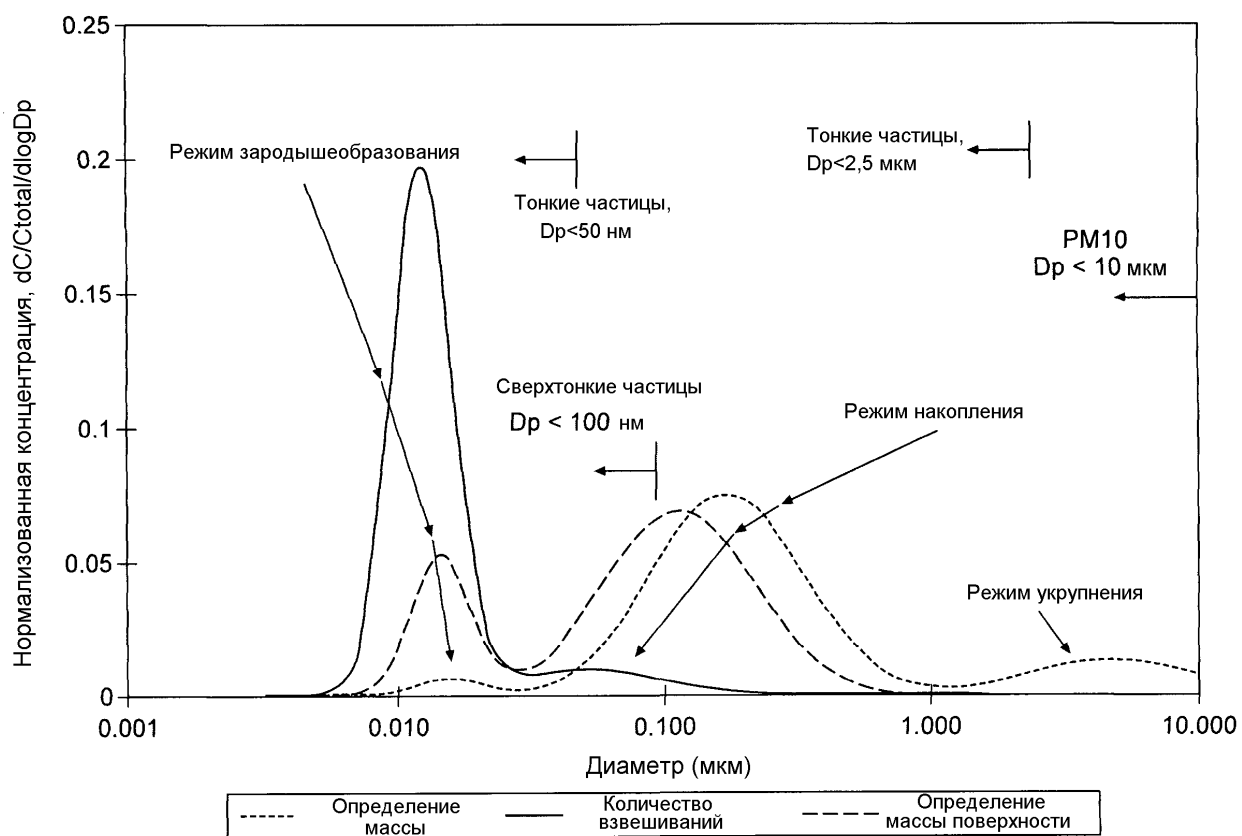
15 17. Стехиометрический двигатель с принудительным воспламенением топлива по п.16.

18. Способ улавливания и сжигания твердых частиц из выхлопного газа, выпускаемого из двигателя с принудительным воспламенением топлива, путем глубинной фильтрации, включающий направление выхлопного газа, содержащего твердые частицы, в
20 выхлопную систему, приведение в контакт выхлопного газа, содержащего твердые частицы, с покрытием тройного катализатора, расположенного на монолите подложки внутри выхлопной системы, приведение в контакт выхлопного газа, содержащего
твердые частицы, с фильтром в выхлопной системе ниже по потоку относительно монолита подложки тройного катализатора, при этом фильтр содержит пористую
25 подложку, имеющую поверхности впуска и выпуска, причем поверхности впуска отделены от поверхностей выпуска пористой структурой, содержащей поры с первым средним размер пор, при этом пористая подложка покрыта покрытием тройного катализатора, содержащим множество твердых частиц, причем пористая структура
покрытой пористой подложки содержит поры со вторым средним размером пор, и при
30 этом второй средний размер пор меньше первого среднего размера пор, причем масса покрытия тройного катализатора на монолите подложки составляет $\leq 75\%$ от общей массы покрытия тройного катализатора в выхлопной системе.

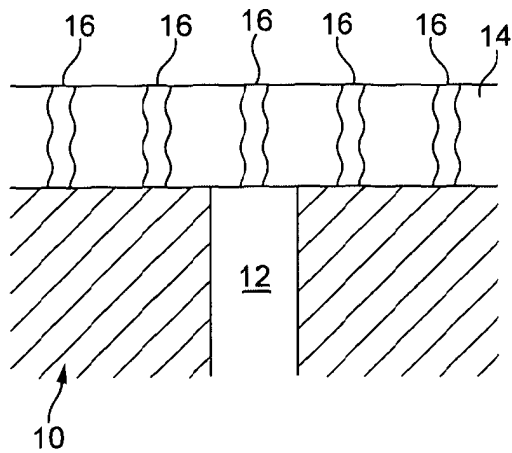
35

40

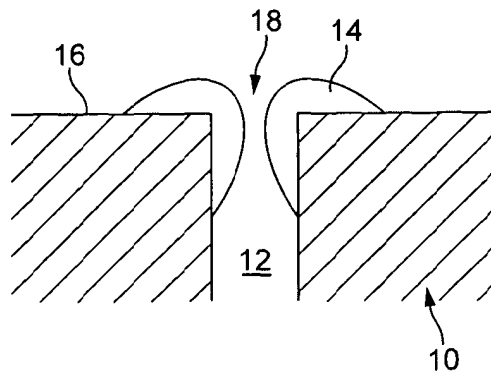
45



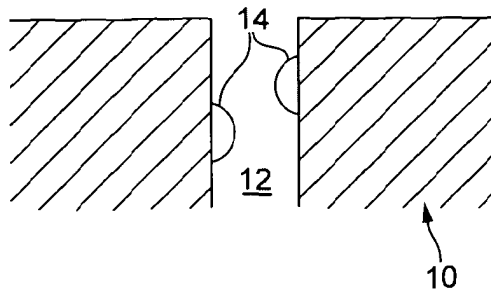
ФИГ.1



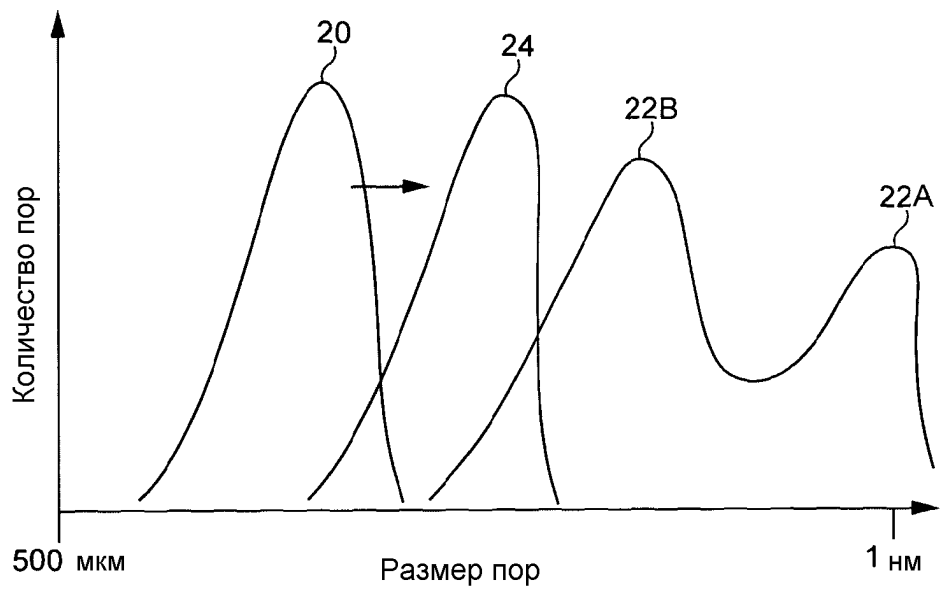
ФИГ.2А



ФИГ.2В



ФИГ.2С



ФИГ.3

Таблица 1 – Схема, показывающая пригодность покрытого стенного проточного фильтра, образованного подложкой фильтра со средним размером пор и загрузкой покрытия тройного катализатора

Средний размер пор подложки (мкм)	Загрузка покрытия тройного катализатора (г/дюйм ³)			
	0.4	0.8	1.6	2.4
38	Недостаточная фильтрация и активность	Недостаточная фильтрация и активность	Спорная фильтрация и хорошая активность	Хорошая активность и фильтрация
20	Недостаточная фильтрация и активность	Спорная фильтрация и недостаточная активности	Хорошая активность и фильтрация	Хорошая активность и фильтрация
13	Недостаточная активность, но хорошая фильтрация	Спорное противодавление и недостаточная активность	Повышенное противодавление, но хорошая активность	Повышенное противодавление, но хорошая активность

ФИГ.4