

ПАВЛОВ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ПОРИСТЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ
СВС-МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ
ФИЛЬТРАЦИИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ**

05.02.01 «Материаловедение» в отрасли «Машиностроение»
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул – 2007

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Новоселов Александр Леонидович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Марков Андрей Михайлович

кандидат технических наук,
Земляков Сергей Анатольевич

Ведущая организация: ГОУ ВПО "Новосибирский государственный технический университет"

Защита состоится «29» мая 2007 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д.212.004.07 в ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46. E-mail: berd50@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова».

Автореферат разослан «27» апреля 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д.212.004.07
кандидат технических наук, доцент

А. А. Бердыченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Научно-технический прогресс в очистке газовых аэрозолей от вредных веществ и твердых частиц заключается в применении новых более современных материалов и применении высоких технологий для их получения.

Отечественными школами ученых, возглавляемыми А. Г. Мержановым, В. И. Итиным, В. В. Евстигнеевым и др. разработана технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) для получения пористых проницаемых материалов, на базе которых появилась возможность изготовления по энергосберегающей безотходной технологии фильтрующих и каталитических материалов, представляющих интерес для машиностроения, а именно для автомобиле- и тракторостроения. Новые материалы открывают возможности их использования в устройствах для очистки отработавших газов. В автомобиле- и тракторостроении эти материалы используются в каталитических нейтрализаторах и сажевых фильтрах.

Дальнейшее развитие систем очистки газов с использованием СВС-материалов сдерживается тем, что окончательно не изучены их физико-механические свойства в зависимости от химического и гранулометрического состава исходных порошковых компонентов.

Существующие методики определения физико-механических свойств пористых материалов не учитывают специфику структур СВС-материалов и их анизотропность. Требуется разработка СВС-материалов, применяемых в качестве фильтров отработавших газов двигателей. Поэтому настоящая работа, направленная на определение прочностных и фильтрующих свойств пористых СВС-материалов в зависимости от структуры и состава шихты, является актуальной.

Цель работы – совершенствование физико-механических свойств СВС-материалов, предназначенных для очистки газов машиностроительных производств и транспорта за счет выбора состава шихты.

Для достижения поставленной цели в работе решались **следующие задачи:**

- выявление влияния исходных порошковых компонентов на механические и физические свойства СВС-материалов, применяемых для очистки отработавших газов двигателей, на основе никелида алюминия и оксида железа;
- выявление влияния структуры пористых проницаемых СВС-материалов на основе никелида алюминия и оксида железа на эффективность очистки отработавших газов двигателей от твердых частиц;
- разработка методики исследований и приборного комплекса по определению физико-механических и эксплуатационных свойств пористых проницаемых СВС-материалов применяемых для очистки отработавших газов двигателей;

- разработка фильтров с полученными пористыми проницаемыми блоками из СВС-материала на основе никелида алюминия и оксида железа.

Объект исследования – материалы и физико-механические свойства пористых проницаемых СВС-материалов на основе никелида алюминия и оксида железа.

Научная новизна работы:

✓ установлены зависимости, связывающие механические свойства пористого проницаемого СВС-материала на основе никелида алюминия и оксида железа с его химическим составом. Выявлено, что добавление меди, хрома, железа, титана и оксида железа не оказывает влияние на изменение ударной вязкости. Добавление 8 % карбида титана в шихту СВС-материала на основе никелида алюминия повышает предел прочности на сжатие на 33 %, а добавление 12 % ферросилиция в шихту СВС-материала на основе оксида железа – на 19 % по сравнению с составами без добавок;

✓ разработан новый состав шихты для получения СВС-материала на основе оксида железа с добавлением формовочной глины марки КШ/2 Т₂. Добавление формовочной глины марки КШ/2 Т₂ в количестве 6 % повышает предел прочности на сжатие на 31 %;

✓ экспериментально определена зависимость фильтрующих свойств разработанного СВС-материала на основе оксида железа с добавлением формовочной глины марки КШ/2 Т₂ от диаметра пор материала, количества ступеней очистки и толщины стенки фильтра. Качество очистки отработавших газов от твердых частиц при увеличении толщины стенки фильтрующего материала возрастает на 3 % на 1 мм толщины. При диаметре пор 150 мкм эффективность очистки составляет 86 %. При применении трех ступеней качество очистки составляет 87 %;

✓ выявлена возможность уменьшения сопротивления СВС-материала на основе оксида железа посредством введения в него ферросилиция. При добавлении ферросилиция в количестве 10 % удельное сопротивление такого СВС-материала уменьшается с 0,46 Ом·м до 0,26 Ом·м, что позволяет проводить регенерацию фильтрующих элементов за счёт нагрева их электрическим током.

Практическая значимость работы состоит в том, что добавление в состав шихты формовочной глины марки КШ/2 Т₂ при получении СВС-материала на основе оксида железа, позволило повысить его прочность на сжатие на 31 %. На основе полученных из него фильтрующих элементов сконструирован каталитический нейтрализатор, позволяющей при эксплуатации дизельных двигателей уменьшить выброс вредных веществ.

Также разработан метод регенерации фильтров из СВС-материалов на основе оксида железа с помощью разогрева электрическим током, позволивший увеличить ресурс нейтрализаторов в два раза.

Работа выполнена как часть целевой комплексной программы Сибирского отделения РАН «Экология», блок «Атмосфера», научно-технической программы Министерства образования и науки Российской Федерации ГР № 01200605509, перспективного плана развития научно-исследовательских работ Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова.

Реализация результатов работы. Предложенный состав шихты используется на ПО «Алмаз» при производстве фильтрующих элементов для нейтрализаторов отработавших газов, разработанных автором. Материалы диссертации используются в учебном процессе Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова в курсах лекций «Конструкционные и защитно-отделочные материалы в автомобилестроении».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах: постоянно-действующем семинаре Автотранспортного факультета АлтГТУ (Барнаул, 2004–2007 г.г.), VII международной научно-технической конференции «Проблемы развития литейного, сварочного и кузнечно-штампового производств» (Барнаул, 2004 г.), 1-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Барнаул, 2004 г.), 62–64-ой научно-технических конференциях студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава АлтГТУ им. И. И. Ползунова (Барнаул, 2004–2006 г.г.).

Публикации результатов исследований. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 14 печатных работах, включая статью в центральном журнале, входящем в перечень изданий ВАК РФ, и двух патентах на изобретение.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав основного содержания, общих выводов, списка используемой литературы из 94 наименований. Работа изложена на 116 страницах, содержит 25 рисунков и 12 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, изложена научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе представлен обзор общих положений СВС- процесса, произведена классификация и анализ фильтрующих материалов, проанализированы условия их работы в качестве фильтрующих элементов каталитических нейтрализаторов отработавших газов (ОГ).

Фильтрующие СВС-блоки, устанавливаемые на автомобильную и тракторную технику, подвергаются значительным тепловым и ударным нагрузкам, при этом они должны сохранять фильтрующие свойства. Так как СВС-материал является устойчивым к температурным нагрузкам, на

первый план выходит совершенствование механических и фильтрующих свойств.

До настоящего времени недостаточно изучены структура, физико-механические и фильтрующие свойства СВС-материалов, данные о которых необходимы при конструировании каталитических нейтрализаторов.

Во второй главе приводятся используемые в исследованиях материалы, методики проведения экспериментов и методы исследований структуры материала.

Для исследования были выбраны СВС-блоки на основе никелида алюминия и оксида железа. При их изготовлении использовались порошки никеля, алюминия, оксида железа Fe_2O_3 , корунда Al_2O_3 и др. В таблице 1 приведен их гранулометрический состав и описана форма частиц.

Таблица 1 – Характеристики свойств выбранных компонентов

Материал	Название по стандарту	Размер частиц, мкм	Форма частиц	Удельная поверхность, $(\text{м}^2/\text{г}) \cdot 10^{-4}$	ГОСТ
Алюминий (Al)	АСД-1	160–250	Округлая	1,5–2,0	ТУ48-5-22-87
Никель (Ni)	ПНК-1	63–100	Округлая	1,0–1,5	ГОСТ 9722-79
Оксид алюминия ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$)	Корунд	63–100	Угловатая, округлая	(<50мкм) 6,0-7,0	МРТУ-6-09-2046-644
Оксид железа (Fe_2O_3)	оксид железа марка С, кв. «чистый»	63–125	Округлая	5,0-6,0	ТУ 2611-022-05761270-2002
Оксид кремния (SiO_2)	маршалит	63–125	Угловатая	4,0-6,0	ГОСТ 9077-82

В качестве исходных составов шихты, к которым добавлялись различные компоненты с целью совершенствования физико-механических и фильтрующих свойств, были выбраны известные ранее составы:

на основе никелида алюминия: Ni – 80 %, Al – 20 %;

на основе оксида железа: Fe_2O_3 – 45 %, Al_2O_3 – 40 %, Al – 15 %.

Для определения проницаемости и фильтрующих свойств пористого СВС-каталитического материала, была создана установка, состоящая из генератора газа и твердых частиц (двигателя), устройства для определения проницаемости пористых СВС-материалов, изображенного на рисунке 1, и газоотборника, установленного на выходе.

Данное устройство позволяет определить расход газов за счет перепада давлений перед мерной шайбой и за ней. Также определяется проницаемость в зависимости от количества перегородок СВС-материала и их толщины. Определяются противодавления, создаваемые СВС-материалом.

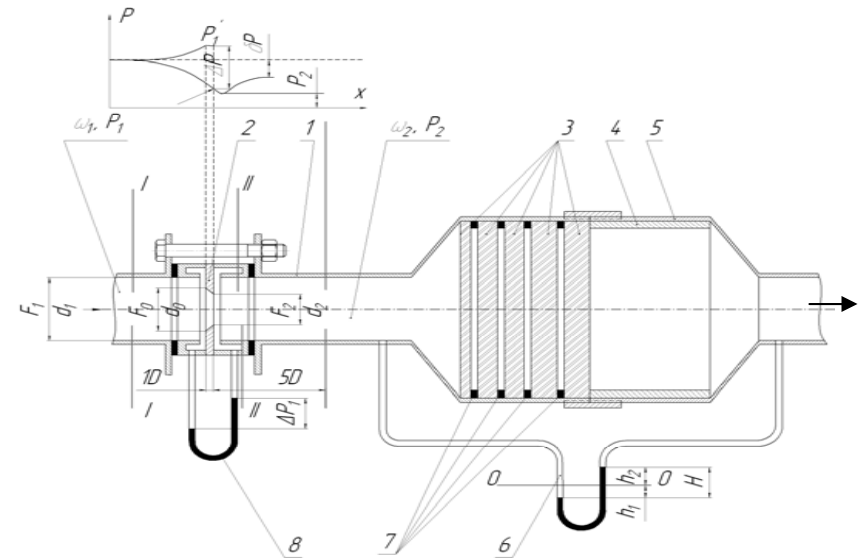


Рисунок 1 – Схема устройства для определения проницаемости пористых СВС-материалов, где 1 – соединительная труба, 2 – мерная шайба, 3 – образцы СВС-материала, 4 – распорная шайба, 5 – фильтродержатель, 6, 8 – пьезометр, 7 - прокладки

При определении диаметров пор, пористости и извилистости СВС-материала на основе никелида алюминия и оксида железа возникли проблемы, связанные с получением шлифов для определения металлографической структуры. У СВС-материала на основе никелида алюминия происходило затирание пор при обработке, а у СВС-материала на основе оксида железа происходило выкрашивание зерен.

Была разработана методика изучения размеров и извилистости пор в проницаемом СВС-материале, позволяющая составить достоверное представление о его структуре. Изучение производилось на основании слепков (рисунок 3), полученных при вдавливании сырой резины ИРП-1068 в поры материала при помощи устройства (рисунок 2) и последующей ее вулканизации. Далее СВС-материал выкрашивался из слепка при помощи вибрации и ударных нагрузок. Слепок анализировался под микроскопом, производилось измерение извилистости, изучалась внутренняя структура.

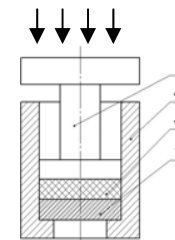


Рисунок 2 – Устройство для получения слепка пор в пористом проницаемом СВС-материале, где 1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – сырая резина; 4 – образец пористого материала

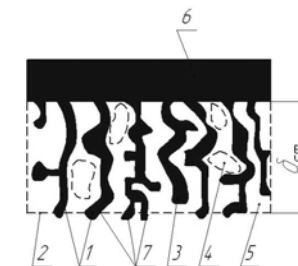


Рисунок 3 – Схема слепка с пористого проницаемого материала, где 1 – слепки сквозных пор; 2 – границы пористого материала; 3 – слепки тупиковых пор; 4 – полости в СВС-материале; 5 – монолитная часть материала; 6 – цельная пятая слепка; 7 – выступ за пределы пористого образца

В третьей главе приводятся результаты определения физико-механических характеристик пористых проницаемых СВС-материалов.

В ходе эксплуатации на автомобильном транспорте каталитических нейтрализаторов с СВС-блоками выяснено, что основной причиной разрушения СВС-материалов на основе никелида алюминия и оксида железа являлись ударные нагрузки. Ударную вязкость материалов пытались увеличить введением в шихту добавок различных металлов. Испытания на ударный изгиб проводились по ГОСТ 9454-78. Образцы получали путем СВ-синтеза в форме с последующей механической обработкой. Результаты испытаний отражены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний на ударный изгиб СВС-материала на основе никелида алюминия

№ обр.	Добавочные компоненты в количестве 5 %	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ²
1	Cu	6 – 7
2	Cr	8 – 9
3	Fe	7 – 8
4	Ti	9 – 10
5	Fe ₂ O ₃	8 – 9
6	Без добавок	8 – 9

Как видно из таблицы 2, ударная вязкость СВС-материала на основе никелида алюминия очень низка. Введение различных добавочных компонентов в состав не дало существенного результата. Значение ударной вязкости СВС-материалов на основе оксида железа составляло еще величину порядка 6 Дж/см², так как они более хрупкие из-за присутствия в составе корунда Al₂O₃. Следовательно, необходимы мероприятия по защите СВС-материалов на основе никелида алюминия и оксида железа от ударных на-

грузок. Такими мероприятиями могут быть совершенствование устройств каталитических нейтрализаторов, применение предварительной затяжки в креплении СВС-блоков для исключения их самопроизвольного перемещения, применение демпфирующих элементов.

Для изучения возможности предварительной затяжки СВС-блоков в корпусе нейтрализатора необходимо знать их прочность при сжатии. Были проведены испытания на сжатие по ГОСТ 25.503-97. Для проведения испытаний были отобраны две группы образцов СВС-материалов на основе никелида алюминия и оксида железа. В шихту на основе никелида алюминия, взятую за 100 %, добавляли карбид титана TiC, так как он повышает прочностные свойства, а в шихту на основе оксида железа ферросилиций FeSi, так как он способствует очищению железа от примесей, и формовочную глину марки КШ/2 Т₂. Результаты испытаний отображены на рисунке 4.

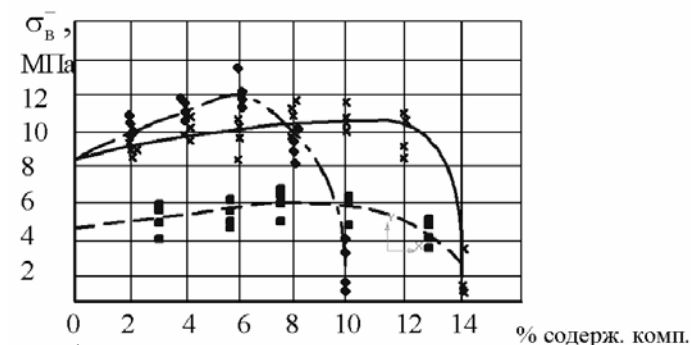


Рисунок 4 – Результаты испытаний на прочность при сжатии, где СВС-материал:

- — — — на основе никелида алюминия с добавкой TiC;
- на основе оксида железа с добавкой FeSi;
- · — на основе оксида железа с добавкой формовочной глины марки КШ/2 Т₂

Добавление карбида титана к шихте на основе никелида алюминия в количестве 8 % позволяет повысить предел прочности на сжатие до 6 МПа, что на 33 % больше по сравнению с составом без добавок. Добавление к шихте на основе оксида железа ферросилиция, позволяет повысить прочность на сжатие до 11 МПа, что на 19 % больше по сравнению с составом без добавок. Это позволило увеличить момент затяжки при креплении фильтров.

В целях повышения устойчивости к динамическим и статическим нагрузкам изделий, а также для уменьшения стоимости получаемых изделий, был разработан состав (заявка на патент №2006146607/02 от 25.12.06), содержащий железную окалину, оксид алюминия и алюминий, формовочную глину марки КШ/2 Т₂, при следующем соотношении компонентов, масс. % :

оксид железа	40 – 42;
оксид алюминия	38 – 40;
формовочная глина марки КШ/2 Т ₂	6 – 8;
алюминий	остальное.

Таблица 3 – Химический состав формовочной глины марки КШ/2 Т₂, % масс.

Компонент	Содержание	Компонент	Содержание	Компонент	Содержание
SiO ₂	58,35 – 65,69	FeO	0,87 – 4,85	Na ₂ O	0,91 – 1,36
Al ₂ O ₃	17,07 – 18,86	CaO	1,55 – 3,3	K ₂ O	0,97 – 1,94
Fe ₂ O ₃	2,26 – 5,44	MgO	2,43 – 3,38	TiO ₂	0,57 – 0,87
P ₂ O ₅	0,08 – 0,16	SO ₃	0,02 – 0,10	прочее	5,8 – 8,14

Данный состав шихты при добавлении 6 % формовочной глины марки КШ/2 Т₂, позволяет повысить прочность на сжатие СВС-материала до 12 МПа, что на 31 % больше по сравнению с составом без добавок что не уступает прочности на сжатие более дорогого компонента ферросилиция. Выбор формовочной глины обусловлен доступностью материала, а также активными химическими соединениями, входящими в её состав. Для определения механических и фильтрующих свойств данного состава были проведены эксперименты, результаты которых представлены на рисунке 4 и 5.

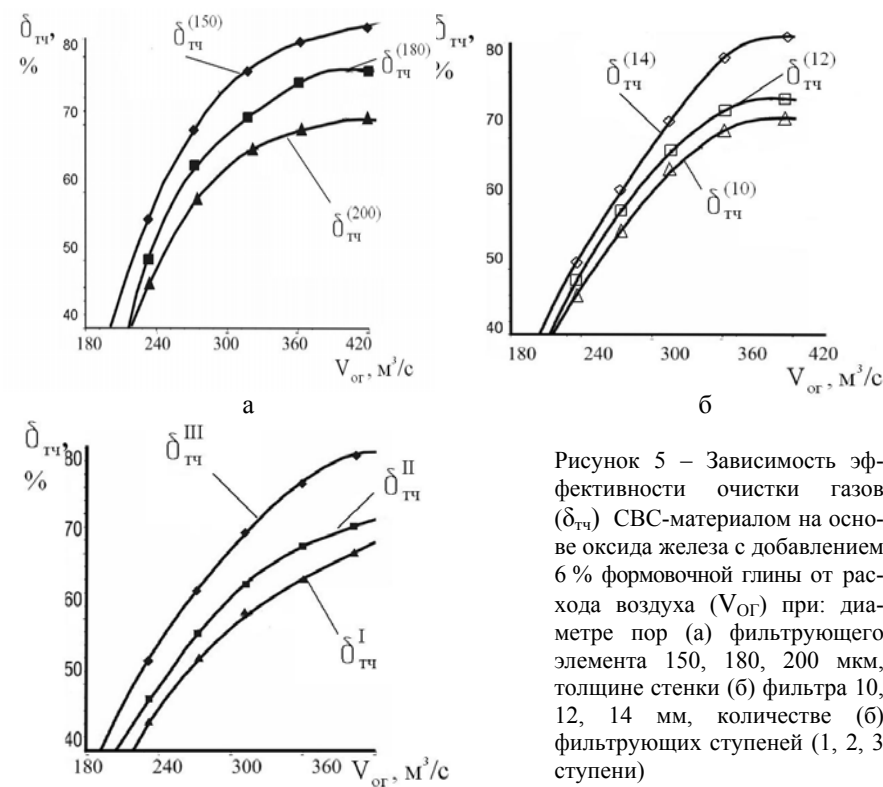


Рисунок 5 – Зависимость эффективности очистки газов ($\delta_{гч}$) СВС-материалом на основе оксида железа с добавлением 6 % формовочной глины от расхода воздуха ($V_{ог}$) при: диаметре пор (а) фильтрующего элемента 150, 180, 200 мкм, толщине стенки (б) фильтра 10, 12, 14 мм, количестве (в) фильтрующих ступеней (1, 2, 3 ступени)

Эксперименты по определению эффективности очистки СВС-фильтров от твердых частиц проводились на установке, изображенной на рисунке 1.

Было установлено, что:

- толщина стенок 10 мм из СВС-материала позволяет производить очистку газов от твердых частиц практически на 75 %;
- качество очистки отработавших газов от твердых частиц при увеличении толщины стенки фильтрующего материала возрастает на 3 % на 1 мм толщины;
- качество очистки при трехступенчатой очистке самое высокое и достигает 87 % в режиме, когда диаметр твердых частиц значителен, а при одноступенчатой очистке качество достигается только в пределах 75 %;
- эффективность очистки отработавших газов от твердых частиц возрастает при уменьшении среднего диаметра пор. Так, при изменении этого показателя с 200 до 150 мкм качество очистки возрастает в 1,2...1,22 раза.

Четвертая глава посвящена проблеме регенерации СВС-фильтров. При эксплуатации на автомобильном транспорте каталитических нейтрализаторов с СВС-фильтрами происходило забивание пор твердыми частицами, что вело к выходу нейтрализатора из строя уже через 180 часов работы. Следовательно, необходима регенерация СВС-фильтров. Хороший результат дало применение регенерации с помощью прямой и обратной продувки СВС-фильтров регенерирующими растворами. Однако конструкция таких устройств регенерации является сложной и не технологичной. Было предложено регенерировать СВС-фильтры разогревом электрическим током. Для оценки этой возможности необходимо знать электрическое сопротивление СВС-материалов, применяемых для очистки отработавших газов двигателей, на основе никелида алюминия и оксида железа.

Для проведения испытаний были взяты СВС-материалы на основе никелида алюминия с добавлением Al_2O_3 и SiO_2 , и оксида железа с добавлением FeSi. Исходная шихта была взята за 100 %. Измерения проводились с помощью омметра М41070/1.

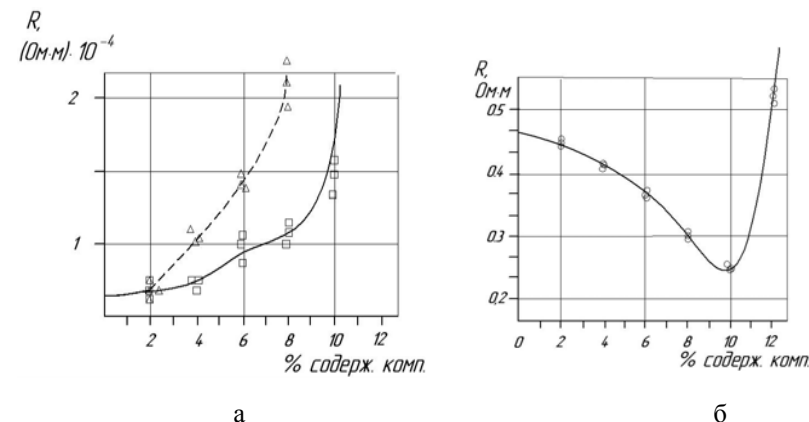


Рисунок 6 – Графики зависимости электрического сопротивления от процентного содержания добавочных компонентов СВС-материалов на основе никелида алюминия (а), где — — добавки Al_2O_3 , - - - — добавки SiO_2 , и шихты на основе оксида железа с добавлением TiC (б)

Из анализа рисунка 6а видно, что система на основе никелида алюминия, при добавлении корунда и маршалита в количестве 2...14 %, имела удельное сопротивление $(0,7...2,1) \cdot 10^{-4}$ Ом·м. Эти добавочные компоненты с диэлектрическими свойствами не привели к значительному изменению сопротивления. При таком удельном сопротивлении при подводе электрического тока возникает короткое замыкание. При добавлении корунда и маршалита более 12 % СВС-процесс полностью не протекал.

СВС-материалы на основе оксида железа имели удельное электрическое сопротивление, в зависимости от содержания ферросилиция, от 0,26 до 0,56 Ом·м (рисунок 6б). Этот результат является приемлемым для применения регенерации СВС-фильтров с помощью разогрева электрическим током. СВС-материал с добавлением формовочной глины имел электрическое сопротивление 0,52...0,56 Ом·м.

Для определения времени разогрева, силы тока и напряжения необходимо решить систему уравнений:

$$Q = c \cdot m \cdot (T_2 - T_1), \quad (1)$$

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t, \quad (2)$$

$$U = I \cdot R, \quad (3)$$

где Q – количество теплоты, необходимой для разогрева материала, кДж;

c – удельная теплоемкость материала, кДж/кг·град;

m – масса материала, кг;

T_2 – конечная температура разогрева материала, град;

T_1 – начальная температура разогрева материала, град;

I – сила тока, А;

R – сопротивление материала, Ом;

t – время разогрева, сек;

U – напряжение, В.

Решая систему уравнений относительно времени разогрева СВС-материала на основе оксида железа с добавлением ферросилиция в количестве 10 %, равного 0,26 Ом·м ($R=50$ Ом), при $c=0,7$ кДж/кг·град, $m=0,2$ кг, $T_2=550$ °С (температура выжигания твердых частиц), $T_1=20$ °С, $I=8$ А, $U=380$ В получим время разогрева $t=32$ сек. Эти результаты были подтверждены экспериментально.

Учитывая специфику применения СВС-фильтров на автомобилях, а именно питание электрических устройств от аккумуляторной батареи или генератора, оптимально удельное сопротивление СВС-материала 0,02...0,04 Ом·м. При этом появиться возможность снизить напряжение до 110 В и уменьшить время разогрева до 16 сек.

Пятая глава. Применение фильтрующих элементов из разработанного СВС-материала на основе оксида железа с добавлением формовочной глины КШ/2 T_2 , в конструкции кассетного каталитического нейтрализатора позволило снизить выбросы твердых частиц на 90% и реализовать четыре ступени очистки. СВС-фильтры объединены в кассеты и стянуты шпильками, что препятствует самопроизвольному перемещению в каталитическом нейтрализаторе. Применение кассет позволяет на каждой ступени очистки использовать СВС-фильтры с различным назначением. Могут использоваться как фильтры для очистки твердых частиц, так и фильтры для каталитической нейтрализации.

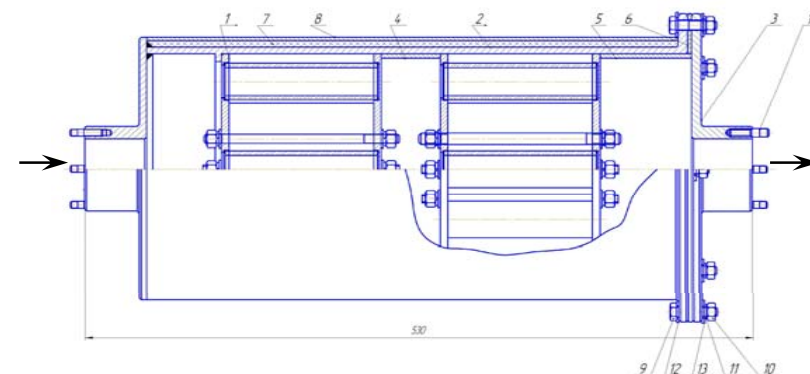


Рисунок 7 – Кассетный каталитический нейтрализатор (патент №2267014), где 1 – кассета каталитического нейтрализатора в сборе; 2 – корпус фильтра; 3 – крышка фильтра; 4 – втулка средняя; 5 – втулка крайняя; 6 – прокладка; 7 – термоуплотнение; 8 – крепление термоуплотнения; 9-13 – крепежные элементы; 14 – соединительные шпильки

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1 Получены зависимости механических свойств (прочности, ударной вязкости) СВС-материала от химического состава добавочных компонентов. Выявлено, что:

- добавление к шихте СВС-материала на основе никелида алюминия меди, хрома, железа, титана и оксида железа в количестве 5 % не оказывает существенного влияния на значения ударной вязкости;

- добавление к шихте СВС-материала на основе никелида алюминия карбида титана TiC в количестве 8 % масс. повышает прочность на сжатие полученного материала на 33 % до 6 МПа, а добавление ферросилиция в количестве 12 % масс. к шихте на основе оксида железа на 19 % до 11 МПа относительно состава без добавок.

2 Определение электрического сопротивления СВС-материала выявило, что добавление в исходный состав шихта на основе оксида железа ферросилиция в количестве 10 % приводит к снижению удельного сопротивления до 0,26 Ом·м, а также открывает возможность для создания новых регенерационных систем на основе разогрева электрическим током.

3 Разработан состав шихты СВС-материала на основе оксида железа который, за счет добавления глины марки КШ/2 Т₂ в количестве 6 %, позволяет повысить прочность на сжатие до 12 МПа, что на 31 % больше, по сравнению с составом без добавок. Определены зависимости эффективности очистки полученного материала в зависимости от диаметра пор, толщины стенки фильтра и количества фильтрующих перегородок. Качество очистки отработавших газов от твердых частиц при увеличении толщины стенки фильтрующего материала возрастает на 3 % на 1 мм толщины. При диаметре пор 150 мкм эффективность очистки составляет 86 %. При применении трех ступеней качество очистки составляет 87 %

4 Применении СВС-фильтров на основе оксида железа с добавлением глины формовочной КШ/2 Т₂ в разработанной конструкции каталитического нейтрализатора, защищенной патентом № 2267014, МПК F01N 3/28, позволяет предохранять фильтры от ударных нагрузок, осуществлять четыре ступени очистки и задерживать до 90 % твердых частиц.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. **Лебедева, О.А.** Восстановление металлов из отходов машиностроения / О.А. Лебедева, Н.А. Степаненко, С.Н. Павлов // Экология и промышленность России. – 2007. – №1. – С. 14–15.

2. **Пугач, Р.А.** Коксообразование и механизм дезактивации каталитических нейтрализаторов / Р.А.Пугач, С.Н. Павлов, А.А. Новоселов. // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. ст. под ред. Новоселова А.Л. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, – 2004. – С. 59–62.

3. **Исаева, Ж.М.** Влияние среднего диаметра пор каталитических блоков на процессы их дезактивации / Ж.М. Исаева, С.Н. Павлов, В.И. Пролубников // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. ст. / под ред. А.Л. Новоселова – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2004. – С. 71–73.

4. **Пугач, Р.А.** Регенерация каталитических блоков нейтрализаторов обработкой продувкой парами специальных растворов / Р.А. Пугач, С.Н. Павлов, А.А. Новоселов // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. ст. под ред. А.Л. Новоселова – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, – 2004. – С. 91–94.

5. **Стороженко, А.В.** Регенерация нейтрализаторов обратной продувкой газами/ А.В. Стороженко, Р.А. Пугач, С.Н. Павлов // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. ст. под ред. А.Л. Новоселова – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, – 2004. – С. 95–97.

6. **Павлов, С.Н.** Методы расчета на прочность СВС-материалов / Новоселов А.Л. // Наука и молодежь. 1-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых / АлтГТУ – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, – 2004. – С. 54–55.

7. **Лебедева, О.А.** Электросопротивление СВС-пористых материалов на основе железа и никеля / О.А. Лебедева, С.Н. Павлов, С.С. Торбунов // Проблемы развития литейного, сварочного и кузнечно-штампового производств. Материалы VII международной научно-технической конференции. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ. – 2004, – С. 35.

8. **Лебедева, О.А.** Использование поперечного зондирования полости сажевого фильтра для оценки характеристик частиц в газах дизеля / О.А. Лебедева, С.Н. Павлов, А.В. Стороженко, Ж.М. Исаева // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. ст. под ред. А.Л. Новоселова – Барнаул: Изд-во АлтГТУ. – 2005. – С. 67–71.

9. **Мельберт, А.А.** Влияние условий на выпуске на дисперсность твердых частиц/ А.А. Мельберт, С.Н. Павлов, С.В. Пилюгин // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. ст. под ред. Новоселова А.Л. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ. – 2005. – С. 80–86.

10. **Павлов, С.Н.** Металлокерамические каталитические фильтры для нейтрализаторов отработавших газов дизелей/ С.Н. Павлов, Н.Д. Новоселова, А.А. Жуйкова // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей / под ред. д.т.н., профессора А.Л. Новоселова / Академия транспорта РФ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова Барнаул, 2006. – С. 4–8.

11. **Новоселов, А.Л.** Эффективность применения пористых проницаемых СВС-каталитических блоков в нейтрализаторах/ А.Л. Новоселов, С.Н. Павлов, А.А. Жуйкова // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей / под ред. д.т.н., профессора А.Л. Новоселова / Академия транспорта РФ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова Барнаул, 2006. – С. 47–56.

12. **Новоселов, А.Л.** Влияние характеристик пористых СВС-материалов на процессы дезактивации каталитических фильтров / А.Л.Новоселов, А.А.Жуйкова, С.Н.Павлов, А.В.Кузнецов // Промышленные системы: материалы ШМ Всероссийская н.-т. конф. Красноярск, 22–24 ноября 2006 г.: В 2 ч. Ч.1 / ред. В.Н.Катаргин. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – С.212–215.

13. **Новоселов, А.Л.** Закоксовывание пористых проницаемых СВС-каталитических блоков нейтрализаторов / А.Л.Новоселов, А.А.Мельберт, А.А.Жуйкова, С.Н.Павлов // Вестник КГТУ. Серия Транспорт. Выпуск 40. 2006. – С.62–66.

14. **Павлов, С.Н.** Дожигание сажи в каталитических нейтрализаторах созданных на основе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза//64-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава технического университета им.И.И.Ползунова / Алт.гос.тех.ун-т им.И.И.Ползунова. – Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2005 – С.29–30.

15. **Патент №2267014 РФ**, МПК F01N 3/28 Кассетный каталитический нейтрализатор / А.Л. Новоселов, С.Н. Павлов, А.А. Мельберт, А.А. Жуйкова; – №2004110268/06; заявл. 04.05.2004; опубл. в 2005, Бюл. № 8.

16. **Патент №2272159 РФ**, МПК F01N 3/28 Секционный каталитический нейтрализатор / А.Л. Новоселов, С.Н. Павлов, А.А. Мельберт, А.А. Жуйкова; – №2004118127; заявл.15.06.2004; опубл. в 2006, Бюл. № 8.