

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-1-403-142-148
УДК 621.43.068.4:629.5.03

Н.Н. Горлова

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

ВЛИЯНИЕ АГРЕССИВНЫХ УСЛОВИЙ НА КАТАЛИТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Объект и цель научной работы. Объектом являются пористые проницаемые каталитические материалы, используемые в системе каталитической нейтрализации отработавших газов судовых энергетических установок. Цель исследования – изучение влияния агрессивных факторов на каталитические свойства и характеристики материалов, применяемых в указанной системе.

Материалы и методы. Предложена методика проведения экспериментальных исследований по изучению влияния агрессивных факторов, которые возникают при эксплуатации судовых дизелей, приводя к газотермической коррозии. Разработана установка для изучения влияния высокой температуры потока отработавших газов на коррозионные свойства пористых проницаемых каталитических материалов.

Основные результаты. В результате проведенных исследований получены данные о влиянии газотермической коррозии на свойства и характеристики пористых проницаемых каталитических материалов, используемых в системах очистки отработавших газов судовых энергетических установок.

Заключение. Результаты исследований позволяют оценить степень влияния агрессивных факторов эксплуатации системы очистки отработавших газов на каталитические материалы, а также подобрать состав указанных материалов в соответствии с заданными требованиями к качеству очистки отработавших газов.

Ключевые слова: коррозия, каталитические материалы, отработавшие газы, снижение токсичности, методика исследований, судовые дизели.

Автор заявляет об отсутствии возможных конфликтов интересов.

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-1-403-142-148
UDC 621.43.068.4:629.5.03

N.N. Gorlova

Polzunov Altay State Technical University, Barnaul, Russia

AGGRESSIVE ENVIRONMENTS AND THEIR IMPLICATIONS FOR CATALYTIC CONVERTERS OF MARINE DIESELS

Object and purpose of research. This paper discusses porous permeable catalysts used in converters of marine engines. The purpose of this study was to investigate the effect of aggressive environments upon catalytic properties and parameters of the materials used for catalytic conversion.

Materials and methods. The paper suggests a procedure for experimental studies intended to investigate the effects of aggressive environments in marine diesels contributing to gas-thermal corrosion. It also presents a test rig for investigation of hot gas flow effects upon corrosion properties of porous permeable catalytic materials.

Main results. The study yielded the data on gas-thermal corrosion effects upon properties and parameters of porous permeable catalysts used in exhaust gas converters of marine power plants.

Conclusion. The results of the study make it possible to estimate the extent of aggressive environment effects of exhaust gas conversion system upon the properties of its catalysts, as well as to adjust the chemistry of catalytic material in accordance with the requirements to conversion quality of exhaust gases.

Keywords: corrosion, catalysts, exhausts, conversion, research procedure, marine diesels.

The author declares no conflicts of interest.

Для цитирования: Горлова Н.Н. Влияние агрессивных условий на каталитические материалы в системах очистки отработавших газов судовых дизелей. Труды Крыловского государственного научного центра. 2023; 1(403): 142–148.

For citations: Gorlova N.N. Aggressive environments and their implications for catalytic converters of marine diesels. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2023; 1(403): 142–148 (in Russian).

Введение

Introduction

Интенсивное загрязнение водных объектов ввиду быстрого распространения вредных веществ на значительные площади, большая инерция реагирования на попадающие в окружающую среду вредные вещества и высокая степень их накопления в живых организмах – одни из самых актуальных в настоящее время проблем.

Загрязнение водных объектов и прибрежных зон плавания во многом происходит из-за деятельности судов смешанного («река – море») плавания, в частности за счет выбросов веществ, образующихся в результате сжигания дизельного топлива судовыми дизелями. Наиболее вредными из этих веществ считаются следующие: оксиды азота, образующиеся в цилиндрах дизеля при температуре выше 1500 °С (когда азот становится химически активным газом); оксид и двуокись углерода, получающиеся в результате сгорания топлива; сернистый и серный ангидриды, образующиеся из-за

окисления присутствующей в топливе серы (элементарной, меркаптановой и др.); продукты неполного сгорания топлива; агломерация мелких частиц не полностью сгоревшего топлива; частицы сажи [1].

Одним из эффективных и перспективных методов снижения токсичности отработавших газов судовых дизелей является каталитическая нейтрализация с применением пористых проницаемых каталитических материалов определенного качественного и количественного состава [2, 3].

Степень снижения токсичности отработавших газов, использование каталитической нейтрализации во многом зависят от среды, в которой происходит ее эксплуатация. При использовании ее на судах среда эксплуатации является агрессивной и имеет специфику, обусловленную высокой влажностью воздуха, составом и высокой температурой отработавших газов, высокосернистым топливом, изменением температуры внешней среды и другими факторами.

Условия эксплуатации системы очистки с использованием каталитических материалов прово-



Рис. 1. Методика проведения экспериментальных исследований по изучению влияния газотермической коррозии на свойства и характеристики пористого проницаемого каталитического материала

Fig. 1. Procedure of experimental studies on gas-thermal corrosion effects upon properties and parameters of porous permeable catalyst

цируют возникновение процесса коррозии, в результате которого происходит частичное разрушение материала вследствие протекания химических реакций как на его поверхности, так и в поровом пространстве. Ускоряют процесс высокая температура и скорость отработавших газов, проходящих через стенки пористого проницаемого каталитического материала.

Имеющаяся в научных источниках [4–6] информация о коррозионной стойкости каталитических материалов не отражает особенности процесса коррозии в пористых проницаемых каталитических материалах.

Описание решения задачи

Description of task solution

Изучение влияния высокой температуры и скорости отработавших газов и, как следствие, протекания процесса газотермической коррозии на пористые проницаемые каталитические материалы, используемые в системе очистки отработавших газов судовых дизелей, проводилось на образцах материалов с различным качественным и количественным составом.

Для планирования и организации проведения экспериментальных исследований была разработана методика, схематичное изображение которой приведено на рис. 1.

Четкое следование данной методике позволяет последовательно провести весь комплекс необхо-

димых экспериментов и получить достоверные данные с наименьшими затратами времени и других ресурсов.

Постановка задачи

Formulation of task

В соответствии с целями проводимого исследования условия эксплуатации материала были определены как агрессивные ввиду воздействия на материал высоких температур отработавших газов (около 900 К), которые содержат комплекс вредных веществ, проходящих через каталитический материал с большой скоростью (около 99 м³/ч).

В качестве исследуемых материалов были выбраны составы, базовыми компонентами которых являются отходы обработки металла: окалина легированной стали (например, 18ХНВА, 18ХНМА, 40ХНМА), формовочная глина и размол руды ильменит. Исследования проводились на образцах пяти разных составов.

В табл. 1–3 приведены качественные и количественные составы исследуемых материалов, а также их основные свойства и характеристики.

Для получения адекватных результатов исследования проводились в идентичных условиях, при одинаковых подачах топлива по нагрузочным характеристикам, частоте вращения коленчатого вала 2600 мин⁻¹, значениях среднего эффективного давления 0...0,35...0,55...0,78 МПа, температуре окружающей среды ($T_0 = 298$ К), давлении окружающей

Таблица 1. Данные об исследуемых составах шихты пористого проницаемого каталитического материала на основе окалины легированной стали

Table 1. Chemistry of porous permeable catalyst samples based on alloyed-steel scale

Отдельные свойства и характеристики	Составы шихты исследуемых образцов				
	ОС-1	ОС-2	ОС-3	ОС-4	ОС-5
Содержание компонентов в шихте, в % по массе					
Окалина легированной стали (18ХНВА, 18ХНМА, 40ХНМА и др.)	42,84	45,34	47,82	50,30	52,78
Оксид хрома	17,87	17,90	17,95	18,00	18,05
Хром ПХ-1 по ТУ 882-76	6,90	6,85	6,80	6,75	6,70
Никель ПНК-ОТ-1 по ГОСТ 9722-79	12,40	12,30	12,20	12,10	12,00
Алюминий по ТУ 485-22-87 марки АСД-1	17,90	15,45	13,00	10,55	8,10
Иридий	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21
Родий	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11
Медь	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05

Таблица 2. Данные об исследуемых составах шихты пористого проницаемого каталитического материала на основе формовочной глины

Table 2. Chemistry of porous permeable catalyst samples based on molding clay

Отдельные свойства и характеристики	Составы шихты исследуемых образцов				
	ФГ-1	ФГ-2	ФГ-3	ФГ-4	ФГ-5
Содержание компонентов в шихте, в % по массе					
Формовочная глина	54,60	55,20	56,30	57,50	58,30
Окалина легированной стали (18ХНВА, 18ХНМА, 40ХНМА и др.)	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
Медь (отходы машиностроения)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Хром ПХ-1 по ТУ 882-76	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Никель ПНК-ОТ-1 по ГОСТ 9722-79	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4
Алюминий по ТУ 485-22-87 марки АСД-1	12,3	11,7	10,6	9,4	8,6

Таблица 3. Данные об исследуемых составах шихты пористого проницаемого каталитического материала на основе размола руды ильменит

Table 3. Chemistry of porous permeable catalyst samples based on ground ilmenite ore

Отдельные свойства и характеристики	Составы шихты исследуемых образцов				
	ИЛ-1	ИЛ-2	ИЛ-3	ИЛ-4	ИЛ-5
Содержание компонентов в шихте, в % по массе					
Руда ильменит	71,69	66,86	64,35	61,40	55,42
Алюминий по ТУ 485-22-87 марки АСД-1	16,86	19,62	20,05	21,94	26,98
Хром ПХ-1 по ТУ 882-76	4,10	4,12	4,16	4,19	4,20
Никель ПНК-ОТ-1 по ГОСТ 9722-79	6,19	8,23	10,26	11,28	12,20
Медь (отходы)	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20

среды ($p_0 = 105$ МПа), влажности ($W = 50$ %) на образцах одинаковых размеров ($30 \times 40 \times 100$ мм).

Использование описанного подхода позволяет изучить влияние газотермических процессов на пористый проницаемый каталитический материал и, как следствие, функционирование всей системы очистки отработавших газов с точки зрения снижения их токсичности.

Результаты исследования

Results

О прохождении процесса газотермической коррозии прежде всего свидетельствует потеря массы исследуемых материалов в результате химических реакций при газотермической коррозии. Данные, подтверждающие произошедшие изменения, представлены в табл. 4.

Из полученных данных видно, что при увеличении доли окалина стали и формовочной глины в шихте каталитического материала потеря массы в результате газотермической коррозии уменьшается. Обратная зависимость выявлена по итогам исследования материала на основе размола руды ильменит. С увеличением доли руды в составе шихты потеря массы изменяется в интервале 10,0...15,3 % по массе вследствие увеличения доли оксида железа и оксида кремния, входящих в состав руды. Следовательно, при получении пористого проницаемого каталитического материала меньшая доля размола руды обеспечивает большую коррозионную стойкость.

Основная задача проводимых исследований заключалась в оценке степени влияния агрессивных факторов на пористые проницаемые каталитические материалы и их способность снижать токсичность вредных веществ в отработавших газах судовых

Таблица 4. Результаты изучения влияния газотермических воздействий на исследуемые пористые проницаемые каталитические материалы

Table 4. Gas-thermal effects upon investigated porous permeable catalysts

Материал	Содержание основного компонента в шихте, в % по массе	Потеря массы в процессе газотермической коррозии, в % по массе
Материал на основе окалины легированной стали		
ОС-1	42,84	18,3
ОС-2	45,34	16,0
ОС-3	47,82	13,6
ОС-4	50,30	11,9
ОС-5	52,78	10,7
Материал на основе формовочной глины		
ФГ-1	54,60	19,7
ФГ-2	55,20	16,8
ФГ-3	56,30	14,0
ФГ-4	57,50	12,1
ФГ-5	58,30	10,9
Материал на основе размола руды ильменит		
ИЛ-1	71,69	15,3
ИЛ-2	66,86	14,0
ИЛ-3	64,35	12,0
ИЛ-4	61,40	10,9
ИЛ-5	55,42	10,0

Таблица 5. Снижение концентрации вредных веществ

Table 5. Reduction of toxicant concentrations

Материал	Снижение концентрации CO, %	Снижение концентрации NO _x , %	Снижение концентрации SO _x , %	Снижение концентрации C _x H _y , %	Снижение концентрации твердых частиц, %
Материал на основе окалины легированной стали					
ОС-1	80	56	72	56	90
ОС-2	81	53	69	58	90
ОС-3	84	50	66	58	91
ОС-4	85	40	63	58	92
ОС-5	85	28	60	58	92
Материал на основе формовочной глины					
ФГ-1	68	42	68	40	88,0
ФГ-2	69	37	61	45	89,0
ФГ-3	71	37	60	46	90,0
ФГ-4	71	39	56	48	90,5
ФГ-5	72	25	50	49	91
Материал на основе размола руды ильменит					
ИЛ-1	82	52	78	58	88,5
ИЛ-2	83	49	74	61	89,5
ИЛ-3	85	47	73	62	90,5
ИЛ-4	87	41	69	65	91,0
ИЛ-5	87	35	65	65	91,5

дизелей. В результате экспериментов на образцах материалов получены данные о снижении концентрации оксидов углерода, азота, серы, углеводородов и твердых частиц (сажи). Данные приведены в табл. 5.

Полученные данные о снижении концентрации основных шести соединений (табл. 5) позволяют говорить о возможности использования исследуемых материалов в качестве каталитических в системах очистки отработавших газов в зависимости от установленных требований к качеству очистки.

Описание установки

Test rig description

Исследования осуществлялись на реальном газе дизеля 3Д6 на установке, представленной на рис. 2.

Отработавшие газы через впускную трубу 8 поступают в корпус установки 15 с теплоизоляцией 14, проходя через образцы исследуемых каталитических материалов, располагаемых на сетках 12, и выходят через выпускную трубу 20.

Во впускной и выпускной трубах установлены термопары 3 и 4, соединенные с потенциометром 1, данные с которого передаются на цифровой регистрирующий блок 21.

Создаваемое противодействие контролируется с помощью пьезометра 5, расход газа – с помощью расходомера 9, влажность – с помощью гигрометра 10. Концентрация вредных веществ в отработавшем газе на входе и выходе из установки контролировалась с помощью газоотборников 11 и 17. Данные через трехходовый кран 16, газоанализатор 18 и осушительный фильтр 19 передаются на цифровой регистрирующий блок 21.

Достижение требуемой степени влажности отработавшего газа достигается с помощью распыления воды из емкости 2 через форсунки 7 на входной поток отработавших газов. Интенсивность подачи воды регулируется с помощью крана 6.

Исследования могут проводиться на образцах различных размеров, для чего количество и высота расположения решеток 12 регулируются высотой фиксирующих колец 13.

При проведении экспериментальных исследований образцы материалов стандартного размера размещались на решетках, образцы каждого состава извлекались после прохождения испытаний в течение 50, 100, 150, 200, 250 и 300 циклов по 10 часов. Образцы продувались сжатым воздухом, промывались, высушивались, взвешивались, затем определялись их физические, физико-механические и функциональные свойства.

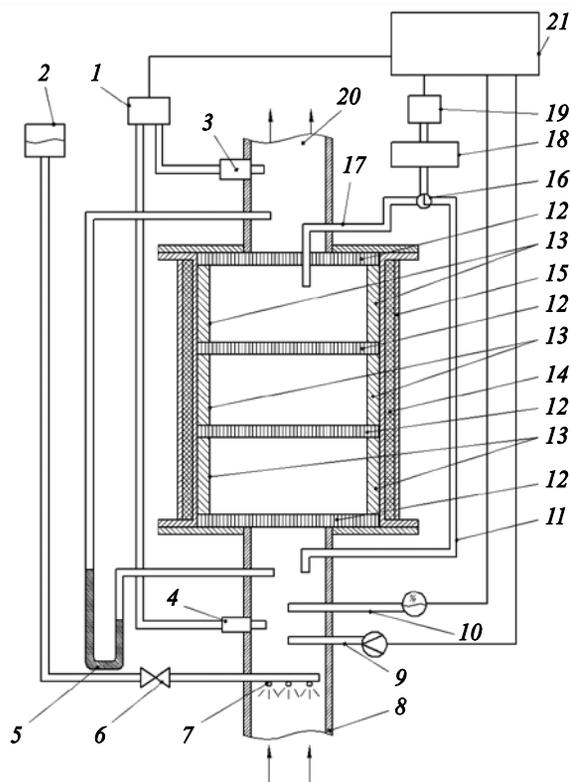


Рис. 2. Установка для изучения влияния температуры и потока отработавших газов на коррозионные свойства пористых проницаемых каталитических материалов: 1 – потенциометр; 2 – бак с водой; 3, 4 – термопары; 5 – пьезометр; 6 – кран регулирования подачи воды; 7 – форсунки; 8 – впускная труба; 9 – расходомер; 10 – гигрометр; 11, 17 – газоотборники; 12 – решетки для размещения образцов исследуемых материалов; 13 – кольца, фиксирующие решетки; 14 – теплоизоляция; 15 – корпус реактора; 16 – трехходовый кран газоотборника; 18 – газоанализатор; 19 – осушительный фильтр; 20 – выпускная труба; 21 – цифровой регистрирующий блок

Fig. 2. Test rig for investigation of thermal and gas-flow effects upon corrosion properties of porous permeable catalysts: 1 – potentiometer; 2 – water tank; 3, 4 – thermocouples; 5 – piezometer; 6 – water tap; 7 – nozzles; 8 – inlet pipe; 9 – flow meter; 10 – hygrometer; 11, 17 – gas samplers; 12 – grids for test specimens; 13 – fastening rings; 14 – heat isolation; 15 – reactor body; 16 – gas sample valve (three-way); 18 – gas analyser; 19 – drainage filter; 20 – outlet pipe; 21 – digital recorder

Образцы изучаемых материалов тестировались на эффективность каталитической очистки отработавших газов от вредных веществ. Для определения влияния газотермических воздействий на образцы из пористого проницаемого каталитического материала на эффективность очистки необходимым и достаточным являлось определение расхода газов,

состава газов на входе и выходе, температуры газа на входе и выходе из каталитического материала.

Информация о расходе газа необходима для определения объемной скорости в пористой проницаемой стенке каталитического блока. Состав отработавших газов дает возможность судить о скоростях химических реакций в присутствии катализаторов. Изменения температуры при прохождении газов через проницаемую стенку каталитического блока свидетельствуют о существовании процессов окисления продуктов неполного сгорания.

При проведении экспериментальных исследований по определению влияния температуры отработавших газов на эффективность очистки пористыми проницаемыми каталитическими материалами предполагалась стабилизация следующих параметров в реакторе экспериментальной установки:

- температуры отработавших газов и их свойств;
- содержания кислорода в газах;
- давления в реакторе нейтрализатора;
- противодавления, создаваемого пористой проницаемой стенкой пористого проницаемого каталитического материала.

Используя установку и располагая сведениями о наличии продуктов неполного сгорания, можно определять дополнительную энергию от догорания (доокисления) CO, C_xH_y и сажи в отработавших газах при прохождении их через слой каталитического материала, а также сравнивать величины разогрева каталитических блоков в процессе очистки.

Заключение

Conclusion

Испытания коррозионной стойкости в результате газотермического воздействия на пористые проницаемые каталитические материалы отвечают эксплуатационным требованиям. Эти испытания, имитирующие долговременный режим тепловой нагрузки в реальных условиях, обеспечивают при необходимости получение данных о вероятном сроке службы изделий из пористых проницаемых каталитических материалов в реальных условиях эксплуатации судовых дизелей.

Список использованной литературы

1. Автомобильный справочник / [Пер. с англ.: Г.С. Дугин и др.]. Москва : За рулем, 2000. 896 с.
2. Дугин Г.С. Вопросы снижения токсичности отработавших газов автотранспорта // Итоги науки и техники. Серия: Автомобильный и городской транспорт. Москва : ВИНТИ, 1990. Т. 15 : Научно-технический прогресс на автомобильном транспорте. С. 113–143.
3. Евстигнеев В.В., Лебедева О.А., Тубалов Н.П. Применение СВС-фильтров для создания пористых ката-

литических нейтрализаторов // Совершенствование быстроходных дизелей : материалы междунар. науч. техн. конф. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1999. С. 136.

4. Адамович Б.А. Каталитические нейтрализаторы отработавших газов и экологическая безопасность АТС // Автомобильная промышленность. 2005. № 1. С. 9–11.
5. Аксенов А.В., Некрашевич О.А., Бугаев А.В. Разработка новых керамических материалов для высокотемпературных фильтров // Огнеупоры и техническая керамика. 2001. № 9. С. 26–28.
6. Карпентяц М.Х. Введение в теорию химических процессов. Москва : Высшая школа, 1970. 288 с.

References

1. Bosch. Automotive Handbook / Russian translation by G. Dugin et al. Moscow : Za rulem, 2000. 896 p.
2. Dugin G.S. Emission control of automotive exhaust gases // Itogi nauki i tekhniki. Avtomobilny i gorodskoy transport (Achievements of Science and Technology. Automotive & Urban Transport). Moscow : VINITI, 1990. Vol. 15. P. 113–143 (in Russian).
3. Yevstigneev V.V., Lebedeva O.A., Tubalov N.P. SHS filters in porous permeable catalysts // Transactions of international scientific & technical conference "Progress in Fast Diesels". Barnaul : Publishing House of Altai State Technical University, 1999. P. 136 (in Russian).
4. Adamovich B.A. Catalytic converters of exhaust gases and eco-friendly automotive transport // Avtomobilnaya Promyshlennost' (Automotive Industry). 2005. No. 1. P. 9–11 (in Russian).
5. Aksenov A.V., Nekrashevich O.A., Bugaev A.V. Development of new ceramic materials for high-temperature filters // Refractories & Technical Ceramics. 2001. No. 9. P. 26–28 (in Russian).
6. Karapetyants M.H. Introduction to Chemical Processes Theory. Moscow : Vyshaya Shkola, 1970. 288 p. (in Russian).

Сведения об авторе

Горлова Нина Николаевна, к.т.н., доцент кафедры «Менеджмент» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. Адрес: 656038, Россия, Алтайский край, Барнаул, пр. Ленина, д. 46. E-mail: gnn.09@mail.ru.

About the author

Nina N. Gorlova, Cand. Sci. (Eng.), Associated Professor, Management Department, Polzunov Altay State Technical University. Address: 46, Lenina Pr., Barnaul, Altay Kray, Russia, post code 656038. E-mail: Gnn.09@mail.ru.

Поступила / Received: 17.10.22
Принята в печать / Accepted: 06.02.23
© Горлова Н.Н., 2023