

Исследование процессов тепломассопереноса в фильтрах очистки газовой среды

Н.П. Тубалов¹, Т.В. Новоселова², А.В. Палий², А.А. Шафеева²

¹ Алтайский государственный технический университет

² Донской государственный технический университет

Аннотация: В современных условиях двигатели внутреннего сгорания (ДВС) являются наиболее массовой энергетической установкой целого ряда транспортных машин: автомобилей, тракторов, локомотивов, судов речного и морского транспорта. Жесткие требования современных евро-стандартов к степени «дымности» отработавших газов дизельных двигателей внутреннего сгорания и их токсичности, способствуют возникновению тупиковой ситуации. В ней практически невозможно, используя очевидные технические решения, соблюдение требований стандартов Евро-5 и Евро-6 в условиях сохранения допустимого роста экономических затрат двигателя внутреннего сгорания (ДВС) выделяют в атмосферу значительное количество отработанных газов, что является экологической угрозой. В статье рассмотрен метод СВС – технологии и его преимущества.

Ключевые слова: экологическая угроза, двигатели внутреннего сгорания, СВС-технология, отходы, синтез, фильтры.

Одно из наиболее перспективных решений возникшей в современном мире очень острой дилеммы экология – экономика в области транспортных систем, оснащенных двигателями внутреннего сгорания, может быть реализовано только в области техники, разрабатывающей новые каталитически активные материалы и экономичные технологии их применения и при исследовании соответствующих вопросов тепломассопереноса [1,2].

В современных условиях двигатели внутреннего сгорания (ДВС) являются наиболее массовой энергетической установкой целого ряда транспортных машин: автомобилей, тракторов, локомотивов, судов речного и морского транспорта и т. п. При работе эти двигатели выделяют в атмосферу значительное количество отработанных газов (выхлоп). Накапливаясь в атмосфере, газы представляют реальную экологическую угрозу, особенно в

больших городах, и разрушают здоровье их жителей. В состав отработанных газов входит до 1200 различных компонентов, включая много токсичных [3].

Жесткие требования современных евро-стандартов к степени «дымности» отработавших газов дизельных двигателей внутреннего сгорания и их токсичности, способствуют возникновению тупиковой ситуации. В ней практически невозможно, используя очевидные технические решения, соблюдение требований стандартов Евро-5 и Евро-6 в условиях сохранения допустимого роста экономических затрат [4].

По итогам прошедшего десятилетия безусловное первое место среди катализаторов, которые служат для очистки выхлопных газов, принадлежит композиционным металлокерамическим материалам. По этой причине в данной работе не рассматриваются остальные виды фильтрующих материалов, а акцентируется внимание на увеличении ресурсной базы и технологии применения минерального сырья для создания проницаемых композиционных пористых материалов. В соответствии с предложенной Батаевым А.А. и Батаевым В.А. классификацией композиционных материалов, пористые проницаемые композиты принадлежат к группе гибридных композиционных металлокерамических материалов. Одним из наиболее эффективных технологических методов производства металлокерамики является ветвь порошковой металлургии, называемая самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС) тугоплавких неорганических соединений [5,6].

Метод СВС-технологии предложен, разработан и исследован академиком А.Г. Мержановым и его научной школой примерно 50 лет назад. Сущность метода состоит в специальном инициировании направленного горения спрессованной или свободно насыпанной порошковой шихты, в результате чего реализуется реакция экзотермического взаимодействия, протекающая в режиме направленного горения и соответственно

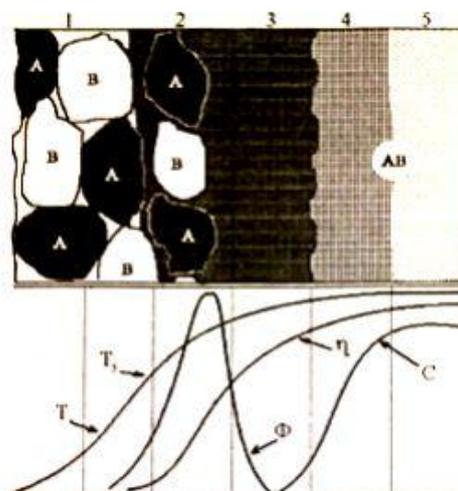
приводящая к синтезу тугоплавких материалов, в нашем случае пористой керамики [7].

Состав и чистота получаемых СВС-технологией продуктов, ограничены только качеством исходных реагентов в шихте. Общая схема СВС-технологии представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 Схема технологического процесса СВС-синтеза

Существенным экологическим преимуществом СВС-технологий является использование производственных отходов других производств, например, стальной окалины, а также полное отсутствие собственных отходов. По типу структуры пористые материалы для носителей катализаторов с заданными свойствами представляют собой гибридные металлокерамические композиты. Схема взаимодействия исходных реагентов, образующих при СВС-процессе конечную структуру, представлена на рисунке 2 [8].



T – температура, $TЭ$ – температура плавления эвтектики, Φ – величина тепловыделения, η – степень превращений, C – концентрация конечного продукта

Рисунок 2. Схема взаимодействия при СВС-процессе

По структурному расположению элементов, проницаемые ПММ, полученные с помощью СВС – технологии, могут иметь одноосное, двухосное или трехосное армирование, реализуемое композиционной матрицей, имеющей армирующие функции. Существуют материалы с тканой, волокнистой, стержневой и спиральной структурой, но функционально, все они фильтрующие и каталитические [9].

Стандартная порошковая система СМС в первоначальном состоянии является пористой неоднородной средой с диапазоном гетерогенности составляющем 1-100 микрометров. Отсюда следует, что, описывая процесс теплопереноса в волне самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, следует учитывать условия теплопередачи в пористых средах. Их характеризует значительное разнообразие механизмов теплопереноса, которые являются кондуктивными, твердофазными и газофазными, а также конвективными и радиационными. Последний фактор, из-за высоких температур, от 2000 до 4000 К, является очень важным для систем

самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [10]. Лучистая теплопередача тесно взаимосвязана со спецификой распределения излучения в порошкообразной среде. Проблема осложняется, поскольку свойства структуры среды во время горения могут значительно отличаться от свойств первоначальной твердой фазы. Отличие может составлять величину от относительной пористости 50% до жидкой фазы с полным отсутствием пористости во фронте волны. Это - причина изменений регулирующего механизма теплопередачи. Преимуществом процесса СВС- синтеза считается наличие саморегулирования скорости и температуры волны горения, что является очень важным, например, в процессе горения твердого топлива. Цель процесса - это создание микроструктуры окончательного продукта, обеспечивающей его эксплуатационные характеристики. ПММ фильтров дизельных двигателей обладают каркасным строением заданного уровня упорядоченности, и их итоговые показатели управляются содержанием шихты, технологическим процессом подготовки и горения. Идея единой производственной технологии фильтрующих материалов, созданных с помощью самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, была продолжена Вольпе Б.М. и Гарколь Д.А. В ее основе лежит факт того, что по окончании синтеза производится готовый продукт из производственных отходов: окислов Fe, Cu, Al, чугуна и других. Вместе с тем, не установлена зависимость физическо-механических и функциональных свойств от пористости и технологических условий, оказывающих влияние на параметры фильтров. Практика использования для очистки отработавших газов ПММ в нашей стране несущественна и, главным образом, ограничена всего лишь испытанием экспериментальных порошковых образцов.

Очищение выхлопных газов выполняется фильтрами, в которых редкоземельные металлы можно применять в качестве смесей металлов и ферроцерия, то есть, практически, нет необходимости применять сложные

технологии для разделения их на отдельные компоненты. Это делает СВС-процессы особенно привлекательными для создания пористых проницаемых фильтров - катализаторов. Фильтры из проницаемых ПММ, изготовленные методом СВС, отличаются от фильтров, полученных из прочих материалов следующими преимуществами - устойчивостью к высоким температурным режимам в процессе эксплуатации; - высокая степень устойчивости против эрозии и коррозии; - устойчивость к нагрузкам, возникающим в результате вибраций на акустических частотах, - возможность выполнения параллельного очищения газа от ТЧ и окислов азота. В заключение следует отметить, что металлокерамические проницаемые ПММ, полученные при помощи СВС-технологий, применяемые для производства фильтров - катализаторов, являются уникальным классом материалов, созданных искусственным путем. Однако их широкое применение в нашей стране затрудняется отсутствием экономичных эффективных рецептов пористых металлокерамических материалов, исследований в области СВС-технологий для производства фильтров и результатов их сравнительных промышленных испытаний.

Литература

1. Лукин Е. С., Макаров Н.А., Додонова И. и др. Новые керамические материалы на базе оксида алюминия // Техническая керамика и огнеупоры. – 2001 год. – № 7. – с. 2-9.
2. Williamson W.E., Gandhi H.S., Neaver E.E. Effect of fuel additive MMT on contaminant retention and catalyst performance // SAE Techn. Pap. Ser. – 1982. – № 821193. – p. 7.
3. Abu-Jrai, A., Tsolakis A., Megaritis A. The influence of H₂ and CO on diesel engine combustion characteristics, exhaust gas emissions, and after treatment selective catalytic NO_x reduction // Hydrogen Energy. – 2007. – 32, № 15. – pp. 3565-3571.

4. Saraco G., Specchia V., Fino P. Innovative means for the catalytic regeneration of particulate traps for diesel exhaust cleaning // Chem. Ind. Sci. - 2003. – 58, № 3. – pp. 951-958.

5. Jakobs R.J., Westbrooke K. Aspects of Influencing Oil Consumption in Diesel Engines for Low Emissions // SAE Techn. Pap. ser. – 1990. – №900587. – pp. 1-18.

6. Bittermann Andreas, Kranawetter Erwin, Krenn Johann, Ladein Bernhard, Ebner Thomas, Altenstrasser Harald, Koegeler Hans-Michael, Gschweidl Kurt (BMW Motoren GmbH, Steyr) Erhissionsauslegung des dieselmotorischen Fahrzeugantriebs // MTZ: Motortechn. Z. – 2004. 65, № 6. – pp. 466-474 130.

7. Chandes Karine, Pichon Guy, Raulf Mathieu, de Bie Toon, Van Genderen Marcel, Van Helden Rinie (Renault V. I. Powertrain). Urea SCR heavy duty engine NO_x reduction for EURO IV // Ing. automob. – 2004, № 770. – pp. 61-65.

8. Новоселова Т.В., Бакланов А.Е., Печеникова Д.С. Очистка отработавших дизельных газов на катализаторах на базе руды монацита // Ползуновский вестник. – 2012 год. – № 3/1. – с. 158-161.

9. Саенко А.В., Малюков С.П., Палий А.В., Бондарчук Д.А., Бесполодин В.В. Исследование распределения температуры в пленке TiO₂ при импульсном лазерном нагреве // Инженерный вестник Дона. 2017. № 3. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4306.

10. Саенко А.В., Палий А.В. Белоусов Е.П., Хандыго А.Д., Малофеев А.Н. Численное моделирование лазерного отжига тонкой пленки аморфного кремния для солнечных элементов // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4954.

References

1. Lukin E. S. N. A. Makarov, E. S. Lukin, I. V. Dodonova i dr. Tehnicheskaja keramika i ognepory. 2001. pp. 2-9.



2. Wiliamson W.E., Gandhi H.S., Neaver E.E. SAE Techn. Pap. Ser. 1982. № 821193. p. 7.
 3. Abu-Jrai, A., Tsolakis A., Megaritis A. Hydrogen Energy. 2007. 32, № 15.pp. 3565-3571.
 4. Saraco G., Specchia V., Fino P. Chem. End. Sci. 2003. 58, № 3. pp. 951-958.
 5. Jakobs R.J., Westbrooke K. SAE Techn. Pap. ser. 1990. №900587. pp. 1-18.
 6. Bittermann Andreas, Kranawetter Erwin, Krenn Johann, Ladein Bernhard, Ebner Thomas, Altenstrasser Harald, Koegeler Hans-Michael, Gschweitzl Kurt (BMW Motoren GmbH, Steyr). MTZ: Motortechn. Z. 2004. 65, N 6. pp. 466-474 130.
 7. Chandes Karine, Pichon Guy, Raulf Mathieu, de Bie Toon, Van Genderen Marcel, Van Helden Rinie (Renault V. I. Powertrain). Ing. automob. 2004, № 770. pp. 61-65.
 8. Novoselova T. V., Baklanov A. E., Pechennikova D. S. Polzunovskij vestnik. 2012. pp. 158-161.
 9. Saenko A.V., Maljukov S.P., Palii A.V., Bondarchuk D.A., Bespoludin V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4306.
 10. Saenko A.V., Palii A.V. Belousov E.P., Handygo A.D., Malofeev A.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №2. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4954.
-