

М. А. Коломеец¹, к. т. н. **А. В. Маецкий²** (✉), **Т. В. Новосёлова³**,
д. т. н. **Н. П. Тубалов²**, **О. В. Яковлева⁴**

¹ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет», г. Барнаул, Россия

² ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», г. Барнаул, Россия

³ Политехнический институт – филиал ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет», г. Таганрог, Россия

⁴ Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

УДК 666.3-127.091

ПОРИСТЫЕ СВС-МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА И АЛЮМИНИЯ С ДОБАВКАМИ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Разработан оптимальный состав шихты для получения пористых проницаемых металлокерамических СВС-материалов с заданными эксплуатационными свойствами для очистки отработавших газов промышленных установок и двигателей внутреннего сгорания. Определены физико-механические характеристики полученных материалов с различным содержанием компонентов в шихте и установлен диапазон частот колебаний, пригодный для эксплуатации материалов в качестве фильтров. Показано, что введение в шихту 0,5–1,5 мас. % легирующих элементов повышает механическую прочность и виброустойчивость СВС-материалов.

Ключевые слова: пористые проницаемые металлокерамические материалы (ППММ), СВС-материалы, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), оксиды металлов, модуль упругости, виброустойчивость.

ВВЕДЕНИЕ

Пористые проницаемые металлокерамические материалы (ППММ) широко применяются в различных отраслях промышленности, и в частности в качестве фильтрующих элементов тонкой очистки жидкостей и газов от ненужных примесей. Технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) позволяет изготавливать ППММ на основе окалины легированной стали (до 60 мас. %) [1–6], пригодные для применения в качестве фильтров отработавших газов ДВС, и в частности дизелей [7–9].

Одно из необходимых условий оптимизации свойств полученного СВС-материала — изучение зависимости свойств ППММ от концентрационного состава исходных компонентов шихты. Для каждой СВС-композиции существует определенный интервал концентрационного состава исходных реагентов, при котором возможно проведение СВС. Цель работы — изучение такой зависимости, что позволит влиять на

свойства ППММ и, кроме того, служит основой технологических рекомендаций по модифицированию его эксплуатационных свойств. Для ППММ в качестве фильтров основными эксплуатационными свойствами являются механическая прочность, виброустойчивость, средний размер пор, извилистость, пористость, проницаемость.

Для получения ППММ с заданными эксплуатационными свойствами предварительно определяется концентрация каждого из реагентов, при которой возможно горение при СВС-процессе. Нами были установлены следующие пределы их концентрации, мас. %: окалина стали 40–60, оксид алюминия 6–30, алюминий 8–20. Железо как легирующий элемент обеспечивает твердорастворное упрочнение матрицы. Окалина легированной стали является отходом горячей обработки металлов (ковки, штамповки) и представляет собой нестехиометрический оксид железа со следами легирующих элементов. Фазовый состав окалины, определенный рентгенофазовым анализом, мас. %: оксиды железа (II) 58–59, железо (феррит) 40–48, оксиды легирующих элементов 0,5–1,5. В исходных пластинах окалины составляющие расплавляются по поверхности и в приповерхностном слое глубиной до 25 мкм (измерено на специально



А. В. Маецкий
E-mail: maetscky@yandex.ru

приготовленном поперечном шлифе пластины окалины, более глубокие слои образованы ферритом). Процесс горячей обработки стали, сопровождающийся окалинообразованием, достаточно кратковременен, и феррит не претерпевает внутреннего окисления.

При проведении исследований использовали окалину сталей 18ХНВА, 18ХНМА, 40ХНМА, имеющих высокую реакционную способность. Было подтверждено ранее обнаруженное свойство СВС-материалов — резкое уменьшение механической прочности при введении в шихту окалины стали более 50 мас. % за счет снижения полноты превращений исходных компонентов [10]. При увеличении концентрации железа в исходной смеси до указанных пределов на поверхности его частиц образуются интерметаллидные соединения. При определении содержания окалины легированной стали в шихте для изготовления ППММ соотношение легирующих компонентов (оксид хрома, хром, никель) сохранялось одинаковым, а изменялось соотношение оксида железа и алюминия.

Сложность подбора состава шихты для получения ППММ заключается в целом ряде ограничений: с одной стороны, касающихся среднего приведенного диаметра пор d_n , их извилистости, пористости и удельной поверхности пористого материала, определяющих его функциональные свойства — эффективность снижения содержания отдельных компонентов в отработавших газах дизелей, подлежащих очистке [4–6, 8, 9], а с другой — обеспечивающих прочность материала при сжатии, изгибе, ударе, высокую стойкость к коррозии. Конечный продукт СВС-реакции образует пористую скелетную структуру [3].

По результатам металлографического анализа установлено, что поровое пространство в исследуемых ППММ представляет собой сеть каналов с геометрией, образующей внутреннюю неупорядоченную шероховатость (рис. 1). Исходя из условий обеспечения каталитических процессов в порах и создания при этом допустимых противо-

давлений от фильтров был определен наиболее приемлемый диаметр пор $d_n = 100\div150$ мкм. Поскольку d_n в материале зависит от соотношения в шихте окалины стали и алюминия, был проведен опыт на 40 образцах и определена зависимость d_n от соотношения $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al}$:

$$d_n = 5,661 \cdot \left(\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}} \right)^2 - 73,091 \cdot \left(\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}} \right) + 345,41. \quad (1)$$

Пористость ППММ, определенная по стандарту, также связана с соотношением в шихте $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al}$. Результаты анализа 40 образцов с различным $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al}$ показали, что пористость материала нелинейно зависит от $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al}$. Определена зависимость пористости P материала от соотношения $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al}$:

$$P = 0,0153 \cdot \left(\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}} \right)^2 - 0,194 \cdot \left(\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}} \right) + 0,903. \quad (2)$$

При этом между d_n и P установлена линейная связь. Определена зависимость P ППММ от среднего d_n :

$$d_n = 522,53 \cdot P - 63,824. \quad (3)$$

Извилистость пор ξ_n в используемых материалах также зависит от соотношения $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al}$:

$$\xi_n = 0,0551 \cdot \left(\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}} \right) + 0,9798. \quad (4)$$

С пористостью материала, средним приведенным диаметром пор и их извилистостью связан очень важный для пористых материалов параметр — удельная поверхность. Поскольку соотношение в шихте $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al}$ во многом определяет пористость материала, был изучен вопрос о влиянии этого соотношения на удельную поверхность $F_{уд}$. Полученные данные свидетельствуют о том, что зависимость носит нелинейный характер и описывается выражением

$$F_{уд} = 3,1634 \cdot \left(\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}} \right)^2 - 39,949 \cdot \left(\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}} \right) + 207,57. \quad (5)$$

Следует отметить, что увеличение доли Al по отношению к Fe_2O_3 ведет к повышению $F_{уд}$ получаемого материала. В то же время увеличение соотношения ($\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al} > 3,75$) приводит к ухудшению физико-механических характеристик, что нежелательно для материалов в изделиях, эксплуатируемых в условиях вибраций и ударов [8]. При росте содержания Fe_2O_3 в шихте P материала снижается при изменении концентрации оксида железа от 45 до 52,5 % в 1,6 раза.

При изучении проницаемости пористого материала стандартным методом было обнаружено, что при содержании в шихте 47,5 % Fe_2O_3 этот показатель составляет $2,24 \cdot 10^{-2}$ – $2,31 \cdot 10^{-2}$ %. Исследован диапазон изменения содержания Fe_2O_3 в шихте от 44 до 52 %. Характер изменения проницаемости в зависимости от содержания окалины железа в шихте оказался нелинейным. Сниже-

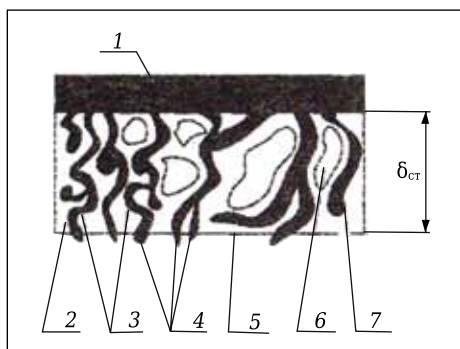


Рис. 1. Схема слепка с ППММ: 1 — целная пята слепка; 2 — монолитная часть материала; 3 — слепки сквозных пор; 4 — выступы за пределы пористого материала образца; 5 — границы пористого материала; 6 — полости в материале; 7 — слепки тупиковых пор

ние проницаемости с повышением концентрации Fe_2O_3 связано с увеличением количества твердой фазы железа в пористом проницаемом каркасе СВС-материалов. Коэффициент проницаемости $K_{\text{п}}$ является одним из структурно зависимых показателей пористых проницаемых материалов, определяющим пригодность и эффективность этих материалов к конкретным условиям эксплуатации в системах очистки отработавших газов как от твердых частиц, так и от токсичных газообразных компонентов. Зависимость величины $K_{\text{п}}$ от дозирования Fe_2O_3 в шихте получена в виде

$$K_{\text{п}} = -0,0294 \cdot (\text{Fe}_2\text{O}_3)^2 + 2,6699 \cdot (\text{Fe}_2\text{O}_3) - 58,162. \quad (6)$$

Предел прочности при сжатии $\sigma_{\text{сж}}$ полученных ППММ зависит от содержания железа в исходном составе шихты. С увеличением содержания Fe_2O_3 в шихте от 45 до 60 % $\sigma_{\text{сж}}$ снижается от 10,5–15,5 до 1,75–2,70 МПа. Предел прочности при изгибе $\sigma_{\text{изг}}$ полученных ППММ так же, как и $\sigma_{\text{сж}}$, зависит от содержания железа в исходном составе шихты. С увеличением содержания Fe_2O_3 от 45 до 60 % $\sigma_{\text{изг}}$ снижается от 2,6–4,25 до 1,3–1,1 МПа. При дозировке Fe_2O_3 в шихте 47,5 % $\sigma_{\text{сж}}$ находятся в пределах 7,25–10,0 МПа, а $\sigma_{\text{изг}}$ — в пределах 2,6–3,75 МПа. Зависимости $\sigma_{\text{сж}}$ и $\sigma_{\text{изг}}$ от содержания Fe_2O_3 в шихте могут быть описаны следующими формулами:

$$\sigma_{\text{сж}} = -0,0033 \cdot (C_{\text{Fe}_2\text{O}_3})^2 + 0,1881 \cdot (C_{\text{Fe}_2\text{O}_3}) + 1,6324, \quad (7)$$

$$\sigma_{\text{изг}} = 0,0368 \cdot (C_{\text{Fe}_2\text{O}_3})^2 - 4,5469 \cdot (C_{\text{Fe}_2\text{O}_3}) + 142,51. \quad (8)$$

Экспериментально на образцах получены данные об ударной вязкости СВС-материалов. Обнаружено, что ударная вязкость материала при концентрации Fe_2O_3 более 50 мас. % резко уменьшается. Это объясняется тем, что в процессе горения снижается полнота превращения исходных компонентов, железо меньше выступает в роли компонента твердого раствора, остаток твердых частиц железа в системе Fe–Al увеличивается, так как растворимость в Al составляет 40–65 мас. %.

Зависимость ударной вязкости $\nu_{\text{уд}}$ от содержания Fe_2O_3 в шихте может быть описана выражением

$$\nu_{\text{уд}} = -0,002 \cdot (C_{\text{Fe}_2\text{O}_3})^2 + 0,1871 \cdot (C_{\text{Fe}_2\text{O}_3}) - 4,1026. \quad (9)$$

С ростом содержания окислы железа от 44 до 52 % наблюдается рост модуля упругости E от $104 \cdot 10^3$ до $118,25 \cdot 10^3$ МПа (рис. 2), т. е. при росте содержания Fe_2O_3 на 9 % E возрастает на 13,7 %.

В табл. 1 приведены физико-механические параметры ППММ в зависимости от содержания в шихте Fe_2O_3 . Рост E нельзя считать значительным, но он сказывается и на изменении частот собственных колебаний образцов. Это выражается в том, что с ростом содержания в шихте Fe_2O_3 в указанных пределах происходит рост частот собственных колебаний на 0,194 Гц, или на 6,7 % (см. табл. 1).

Следует отметить, что составы шихты ППММ, явившиеся базовыми, различаются соотношением массовых долей алюминия и оксида железа. Получена зависимость E ППММ от соотношения в шихте $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al}$ (рис. 3). Экспериментальные данные позволили определить физико-механические параметры и частоты собственных колебаний образцов ППММ в зависимости от соотношения в шихте $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al}$ (табл. 2). При соотношениях $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al}$, обеспечивающих физико-механические и эксплуатационные свойства полученных материалов, их частоты собственных колебаний изменяются незначительно в интервале от 2,975 до 3,144 Гц. При проведении натурных исследований было обнаружено, что частоты собственных колебаний лежат в области 2,9–3 Гц, в то время как частоты вынужденных колебаний, соответствующие максимальным ускорениям, в области от более 400 до 500 Гц. Из этого следует, что при совпадении частот вы-

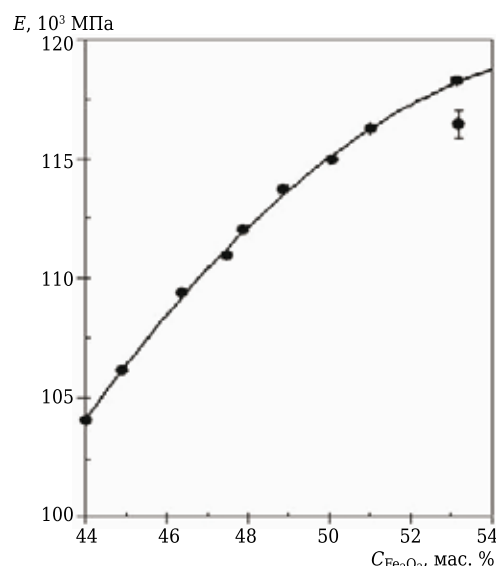


Рис. 2. Зависимость модуля упругости E ППММ от содержания в шихте Fe_2O_3

Таблица 1. Физико-механические параметры ППММ в зависимости от содержания в шихте Fe_2O_3

Содержание в шихте Fe_2O_3 , мас. %	E , 10^3 МПа	Коэффициент жесткости C , 10^3 Н/м	Частота собственных колебаний образца f_0 , Гц
44	104	57,096	2,918
46,5	109,4	60,060	2,993
47,5	111	60,939	3,015
48	112	61,488	3,028
49	113,5	62,312	3,049
51	116,25	63,821	3,085
53	118,25	64,919	3,112

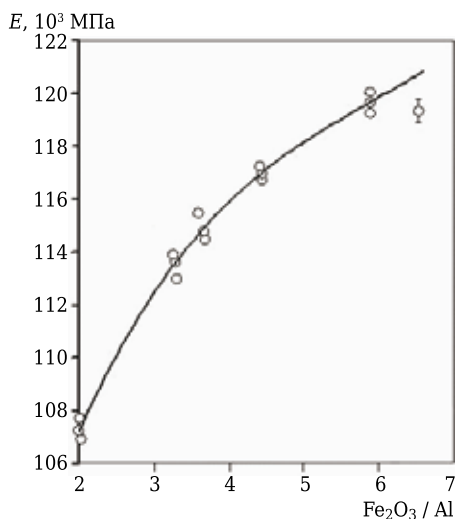


Рис. 3. Зависимость E ППММ от соотношения в шихте $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al}$

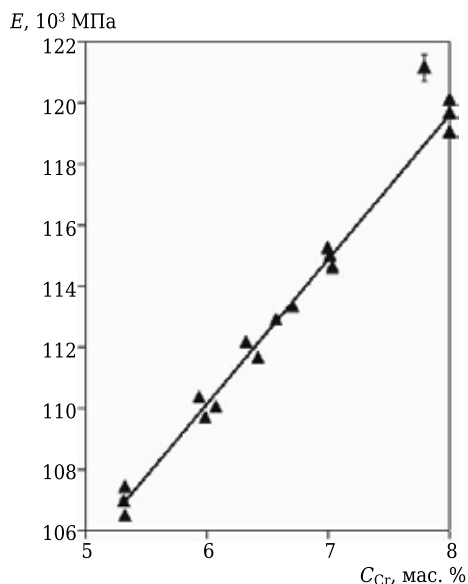


Рис. 4. Изменение E ППММ от содержания в шихте Cr

Таблица 2. Значения частот собственных колебаний образцов ППММ в зависимости от соотношения в шихте $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al}$

$\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al}$	$E, 10^3 \text{ МПа}$	$C, 10^3 \text{ Н/м}$	$f_0, \text{ Гц}$
2,924	108,125	59,361	2,975
3,676	111,000	60,939	3,015
4,292	113,100	62,092	3,043
4,808	114,350	62,778	3,059
6,667	120,750	66,292	3,144

Таблица 3. Значения частот собственных колебаний образцов ППММ в зависимости от содержания в шихте Cr

Содержание в шихте Cr, мас. %	$E, 10^3 \text{ МПа}$	$C, 10^3 \text{ Н/м}$	$f_0, \text{ Гц}$
5,33	107	58,743	2,960
6,0	110	60,390	3,001
6,33	112	61,488	3,028
7,0	115	63,135	3,068
8,0	119,5	65,605	3,128

нужденных колебаний с частотами собственных колебаний в материале появляются микротрещины, которые могут привести к разрушению на отдельные куски. При частотах, соответствующих частотам с максимальными ускорениями, материал разрушается повсеместно по границам зерен компонентов шихты. Такое предположение было подтверждено результатами испытаний на вибростенде, на котором отдельные куски материалов разделялись на зерна компонентов шихты по границам, состоящим из оксидов металлов.

Хром относится к эвтектоидообразующим и α -стабилизирующим элементам по отношению к более легкоплавким металлам. Этими факторами определяются особенности структуры продуктов, полученных в процессе СВС в системе, легированной хромом (табл. 3). Эксперименты показали, что с увеличением массовой доли Cr от 5,33 до 8,0 % в шихте значение коэффициента жесткости материала в образце возрастает в 1,12 раза и зависимость имеет линейный характер. Так, рост содержания Cr от 5,33 до 8 % привел к увеличению E материала от $170 \cdot 10^3$ до $119,5 \cdot 10^3$ МПа, или на 11,6 % (рис. 4). При этом рост частоты собственных колебаний материала составил всего 1 %. Поскольку содержание хрома в шихте, с одной стороны, сдерживается увеличением хрупкости материала, а с другой — возможностью появления дефектов — свищей, в указанном диапазоне изменения содержания Cr не следует ожидать значительного увеличения частоты собственных колебаний, а уровень частот собственных колебаний приблизительно будет находиться в одном и том же интервале колебаний (см. табл. 3).

Увеличение содержания Cr в системе не приводит к существенному изменению фазового состояния конечного продукта реакции. Структура материала при этом становится более однородной за счет большего объема зафиксированного β -твердого раствора, образующего вместе с α -фазой микроструктуру игольчатого типа. Незначительное изменение частоты собственных колебаний образцов ППММ при изменении дозировки хрома в шихте можно объяснить узким диапазоном самого изменения от 5,33 до 8 %, с одной стороны, а с другой — тем, что изменение дозировки происходило путем замещения алюминия.

На основании расчетов и экспериментальных исследований образцов ППММ можно сделать следующие выводы:

- резонансные частоты колебаний образцов ППММ при изменении содержания в шихте хрома изменяются незначительно;

- максимальное виброускорение при увеличении доли хрома в шихте от 5,0 до 7,2 % снижается от 1,72 до 1,52 g.

Оксид хрома участвует в металловосстановительных реакциях с окалиной стали в СВС-

процессе. При содержании Cr_2O_3 в шихте более 17,5 % прочность материала снижается за счет образования в пористой структуре раковин и свищей. Оценено влияние содержания в шихте Cr_2O_3 на изменение частоты собственных колебаний образцов материалов. Обнаружено, что при содержании Cr_2O_3 в шихте от 16 до 19,8 % E уменьшается на 12,75 % (рис. 5). Это приводит к снижению жесткости материала в изделии (табл. 4). Частота собственных колебаний образцов ППММ при этом изменении содержания Cr_2O_3 снижается приблизительно на 6 % (от 3,055 до 2,877 Гц).

Следует признать, что указанное выше изменение частоты собственных колебаний образцов материалов нельзя считать существенным. Характеристики вибраций, представленные в табл. 4, свидетельствуют о том, что их значение изменяется незначительно. Анализируя полученные расчетные и экспериментальные данные о частотах собственных колебаний образцов материалов и величинах, характеризующих изменение при вынужденных колебаниях (вибросмещений, виброскоростей и виброускорений), можно сделать следующие выводы:

- увеличение концентрации Cr_2O_3 в шихте от 16 до 19 мас. % приводит к снижению резонансного виброускорения от 2,165g до 1,816g, что объясняется уменьшением жесткости материала;
- увеличение концентрации Cr_2O_3 в шихте приводит к изменению собственной частоты колебаний образца от 3,055 до 2,877 Гц.

Ранее при исследовании системы Ni–Al–Fe было обнаружено, что присутствие в системе Ni способствует увеличению прочности материалов, повышает их коррозионную стойкость, термостойкость, снижает величину среднего приведенного диаметра пор и повышает их упорядоченность [10]. Предложена схема взаимодействия Ni (температура плавления 1728 K) с Al (температура плавления 933 K) в волне горения. Расплавленный Al, растекаясь по образцу, взаимодействует с твердым Ni, образуя на его поверхности тонкий слой продуктов. Подобный процесс наблюдается и с Fe (температура плавления 1812 K). Одновременно расплав насыщается Ni, в нем возникают твердые промежуточные включения. Структурные исследования показали, что во всем интервале легирования основной составляющей взаимодействия в системе Ni–Al–Fe является твердый раствор на основе интерметаллического соединения Ni–Al. Экспериментальными исследованиями на образцах ППММ обнаружен целый ряд закономерностей изменения физических и физико-механических характеристик при изменении содержания в шихте Ni (табл. 5). Обнаружено, что частоты собственных колебаний в диапазоне изменения соотношения Ni/Al от 0,246 до 0,976 изменяются

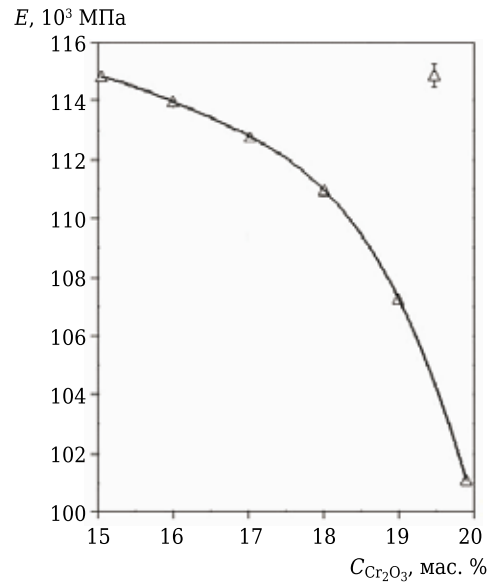


Рис. 5. Зависимость E ППММ от содержания в шихте Cr_2O_3

Таблица 4. Значения частот собственных колебаний образцов ППММ в зависимости от содержания в шихте Cr_2O_3

Содержание в шихте Cr_2O_3 , мас. %	E , 10^3 МПа	C , 10^3 Н/м	f_0 , Гц
16	114	62,586	3,055
17	112,8	61,927	3,039
18	111	60,389	3,015
19	107,4	58,963	2,965
19,8	101,1	55,504	2,877

Таблица 5. Значения физико-механических параметров ППММ в зависимости от содержания в шихте Ni

Содержание в шихте Ni, мас. %	E , 10^3 МПа	C , 10^3 Н/м	f_0 , Гц
5	104,8	57,54	3,090
8	106,1	58,24	3,019
11,75	109,8	60,28	3,016
12,5	111	60,94	3,015
13,60	115,5	63,41	3,005

незначительно — от 3,020 до 3,005 Гц. В то же время диапазон «опасных» частот разрушения от виброускорений от 420 до 490 Гц.

Практическая неизменность частот собственных колебаний может объясняться следующим образом. При увеличении концентрации Ni в шихте в образцах растет модуль упругости. В нашем случае при изменении концентрации Ni в шихте от 5 до 13,6 % увеличивается модуль упругости на 10,2 %. Это приводит к увеличению жесткости образцов. Таким образом, явление резонансного разрушения могло ожидать-ся в области частот колебаний около 3 Гц, что соответствовало среднеквадратичному уровню колебаний 97 дБ. При этом наблюдался особый характер разрушения образцов — в виде отдельных кусков. Характер разрушения материала в

диапазоне частот 420–490 Гц заключался в его измельчении по границам зерен отдельных компонентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Шихта на основе оксидов алюминия (корунд), железа с добавкой порошкового алюминия обеспечивает получение ППММ, предназначенных для эксплуатации в качестве фильтров отработавших газов дизелей. Для получения этих материалов использовали СВС-технология, позволяющую регулировать физико-механические свойства готового продукта.

1. Полученные СВС-материалы способны выдерживать механические и вибрационные на-

грузки, характерные для эксплуатации в двигателях внутреннего сгорания, и в частности, дизелях.

2. Определены физико-механические характеристики СВС-материалов с различным содержанием компонентов и экспериментально установлены диапазоны частот колебаний, опасные с точки зрения их разрушения.

3. Установлено, что увеличение концентрации в указанных пределах компонентов, участвующих в синтезе (Fe_2O_3 , Cr , Ni), приводит к росту модуля упругости, что увеличивает жесткость получаемых материалов, в то же время увеличение содержания в шихте Cr_2O_3 снижает жесткость материала.

Библиографический список

1. **Тубалов, Н. П.** Пористые композиционные керамические материалы, полученные самораспространяющимся высокотемпературным синтезом в системе $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--Al}$ / Н. П. Тубалов, О. А. Лебедева, В. И. Верещагин // Новые огнеупоры. — 2003. — № 9. — С. 40–42.
2. **Tubalov, N. P.** Porous composite ceramic materials produced by a self-propagating high-temperature synthesis in the $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--Al}$ system / V. I. Vereshchagin, S. V. Smirnov, A. N. Shvaitser // Refractories and Industrial Ceramics. — 2003. — Vol. 44, № 5. — P. 343–345.
3. **Верещагин, В. И.** СВС-технология изготовления пористых проницаемых материалов / В. И. Верещагин, В. В. Евстигнеев, Д. В. Колесников [и др.] // Новые огнеупоры. — 2005. — № 12. — С. 40–43.
4. **Vereshchagin, V. I.** Self-propagating high-temperature synthesis technology for preparation of porous permeable materials / V. I. Vereshchagin, V. V. Evstigneev, D. V. Kolesnikov [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. — 2005. — Vol. 46, № 6. — P. 416–418.
5. **Тубалов, Н. П.** Структура и эксплуатационные свойства пористых металлокерамических материалов на основе окалины легированных сталей / Н. П. Тубалов, О. А. Лебедева // Изв. Томского политехнического университета. — 2007. — Т. 311, № 2. — С. 142–146.
6. **Бразовский, В. В.** Исследование параметров, влияющих на качество очистки отработавших газов дизелей / В. В. Бразовский, Г. М. Кашкаров, А. А. Ситников [и др.] // Ползуновский вестник. — 2012. — № 3/1. — С. 224.
7. **Горлова, Н. Н.** Влияние технологии изготовления пористого композиционного материала каталитического нейтрализатора отработавших газов дизелей на его микроструктуру / Н. Н. Горлова, М. А. Коломеец, Г. В. Медведев, А. А. Ситников // Ползуновский вестник. — 2014. — № 4. — С. 200–203.
8. **Бакланов, А. Е.** Получение пористых проницаемых материалов с использованием руд полиметаллов взамен редкоземельных элементов / А. Е. Бакланов // Ползуновский вестник. — 2016. — № 2. — С. 205–212.
9. **Гейнман, А. А.** Очистка газовых и жидких сред металлокерамическими СВС-фильтрами / А. А. Гейнман, В. Д. Гончаров, А. Л. Новосёлов, Н. Ю. Щетинина // Изв. Томского политехнического университета. — 2007. — Т. 311, № 2. — С. 146–150.

8. **Коломеец, М. А.** Вибрация каталитических фильтров нейтрализаторов отработавших газов дизелей / М. А. Коломеец, Н. П. Тубалов, А. Л. Новосёлов // Ползуновский вестник. — 2012. — № 3. — С. 7.

9. **Бакланов, А. Е.** СВС-материалы для очистки отработавших газов дизелей: монография / А. Е. Бакланов, О. Е. Бакланова, М. С. Канапинов [и др.]. — Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2016. — 132 с.

10. **Евстигнеев, В. В.** Повышение прочности пористых материалов, полученных СВС-методом в системе оксиды железа – оксид алюминия – алюминий – ферросилиций / В. В. Евстигнеев, Н. П. Тубалов, О. А. Лебедева // Перспективные материалы. — 2005. — № 6. — С. 70.

11. **Найбороденко, Ю. С.** Закономерности горения композиционных металлических систем / Ю. С. Найбороденко, В. И. Итин, А. Д. Братчиков // Материалы Междунар. симп. по физике горения и взрыва. Т. 1. — Черноголовка, 2000. — С. 117–119. ■

Получено 21.02.17

© М. А. Коломеец, А. В. Маецкий, Т. В. Новосёлова, Н. П. Тубалов, О. В. Яковлева, 2017 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

15-Й ВСЕМИРНЫЙ КОНГРЕСС И ОБЪЕДИНЕННАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ОГНЕУПОРАМ

26–29 сентября 2017 г.

г. Сантьяго, Чили



<http://www.expoclub.ru/db/exhibition/view/7983/>
<http://unitecr2017.org>