

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА КАТАЛИТИЧЕСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ НА ЕГО МИКРОСТРУКТУРУ

М.А. Коломеец, А.А.Ситников, Г.В. Медведев,  
Н.П. Тубалов, Н.Н. Горлова

*В работе приведены результаты изучения влияния технологии изготовления пористого композиционного материала каталитического нейтрализатора отработавших газов дизелей на его микроструктуру. Рассмотрены микроструктуры пористых материалов полученной по технологии самораспространяющегося температурного синтеза на основе окислы стали.*

*Ключевые слова: пористые проницаемые материалы, отработавшие газы, каталитические нейтрализаторы, микроструктура, частота колебаний, вибростойкость.*

Очистка отработавших газов дизелей осуществляется металллокерамическими фильтрами [1]. Фильтрующие элементы, входящие в состав каталитических нейтрализаторов и представляют собой изделия из пористой проницаемой металллокерамики, работающие в условиях сажевых динамических напряжений, вибраций и ударов. Поскольку для осуществления процессов каталитического окисления и восстановления отдельных вредных продуктов сгорания необходимо иметь температуры в диапазоне 620...920 К, нейтрализаторы с пористыми проницаемым каталитическим фильтрующим элементами komponуют в стык с выпускными коллекторами [1] и на фильтрующие элементы передаются вибрации и удары.

Последствием этого является разрушение металллокерамических фильтрующих элементов.

Явление разрушения композиционных материалов - это потеря сцепления между частицами относится к главному предмету исследования в механике разрушения, который связан с изучением макромеханизма процесса разрушения, обоснованием критериев разрушения, изучением разрушающей нагрузки. Научной базой в области разрушения при наличии вибраций являются классические труды Г. Гельмгольца, У.Релея, К. Лэмба, А.Н. Крылова, С.П. Тимошенко и других.

А.А. Гриффитсом показано, то трещина в материале не может развиваться и высвобождаться при росте трещине упругая энергия вместе с дополнительной работой, затрачиваемой на разрушение, не станет равной или не превысит термодинамическую поверхностную энергию твердого тела -  $\gamma_T$ , т.е. пока не будет выполнено условие:

$$\gamma_T \geq dU/dA, \quad (1)$$

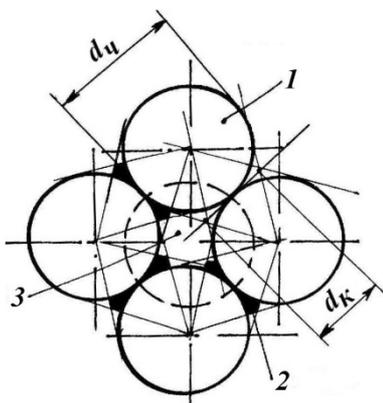
где  $dU/dA$  - упругая энергия, высвобождающаяся при образовании новой поверхности вследствие роста трещины.

В отличие от А.А. Гриффитса, определившего условие выполнения нестабильного распространения трещин количественная мера вязкости разрушения:

$$K_{\sigma} = \gamma_T \left( [2 E \gamma_F] / S_P \right)^{0,5}, \quad (2)$$

где  $E$  - модуль упругости материала, а длина трещины отрыва  $2L$ , задача должна рассматриваться для пористого материала, состоящего из частиц металлов, окислов, карбидов и т.д. с учетом особенности несплошности материала и объемно.

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА КАТАЛИТИЧЕСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ НА ЕГО МИКРОСТРУКТУРУ**



1 - зерно металлической матрицы; 2 - металлы, оксиды металлов и неметаллические соединения; 3 - пора

*Рисунок 1 - Феноменологическое представление о структуре пористого материала*

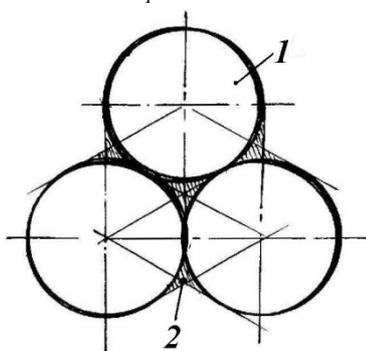
На рисунке 1 представлена схема феноменологического представления о структуре пористого СВС (самораспространяющийся высокотемпературный синтез)-материала. Микро модель такого элемента материала состоит из шести шаров (зерен), представляющих собой частицы металлической решетки, и «соединяющих элементов» из металлов, оксидов металлов и неметаллических соединений.

Тогда условно площадь контакта  $S_{к2}$  между двумя частицами будет составлять, учитывая что диаметр контакта  $d_k$  максимальный составляет около 0,6  $d_u$  - диаметр частиц равна:

$$S_{к2} = 0,471 \cdot d_u^2 \quad (3)$$

Тогда площадь контакта в укладке из шести частиц

$$S_k = 5,652 \cdot d_u^2 \quad (4)$$

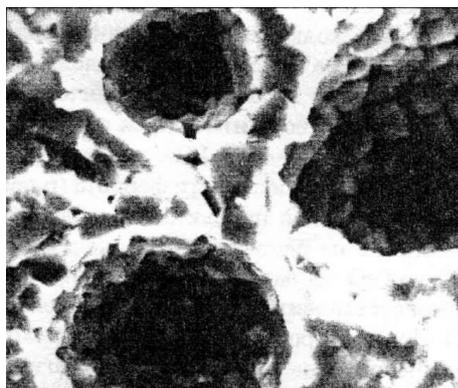


1 - зерно металлической матрицы, 2 - металлы, оксиды металлов и неметаллические соединения

*Рисунок 2 - Феноменологическое представление о структуре композитного материала*

На рисунке 2 представлена схема феноменологического представления о композитном материале с плотной укладкой зерен (частиц). В такой структуре практически нет места для пор.

Однако технология изготовления материалов с применением СВС-материалов во-первых не предусматривает предварительную засыпку каркасообразующих частиц металла с последующим наполнением другими компонентами, а во-вторых связи между каркасообразующими частицами металла хаотичны, окончательно неупорядочены, а поры образуются в процессе реакции СВС с окислением оксидов металлов. Каркас образуется при растекании определенных компонентов при достижении температур их плавления. В результате мы имеем неупорядоченные по форме поры, имеющие структурную извилистость и внутреннюю шероховатость. На фотографии рисунка 3 показан срез пористого проницаемого СВС - материала, предназначенного для изготовления фильтрующих элементов каталитического нейтрализатора [2].



*Рисунок 3 - Микроструктура продукта взаимодействия системы "окалина стали - оксид хрома - алюминий" ( × 3000 )*

Однако срез пористого проницаемого СВС - материала, представленный на рисунке 4, являющийся продуктом взаимодействия системы "окалина стали - алюминий", получается более "чешуйчатым", т.е. имеющий в своем составе концентраторы напряжений по краям границ зерен, в виде готовых микротрещин. Что приведет к ускоренному разрушению материала повсеместно по границам и зернам компонентов шихты.

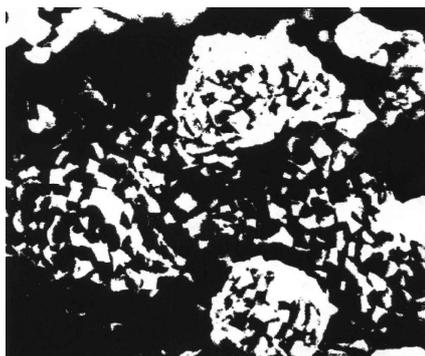


Рисунок 4 - Микроструктура продукта взаимодействия системы "окалина стали - алюминий" ( $\times 3000$ )

Если рассмотреть микроструктуру продукта взаимодействия системы "оксид хрома - алюминий", представленную на рисунке 5, то можно увидеть наличие неупорядоченных по форме и хаотично расположенных частиц (зерен) металлической матрицы, что также предполагает неоднородность и наличие концентраторов напряжений в материале.

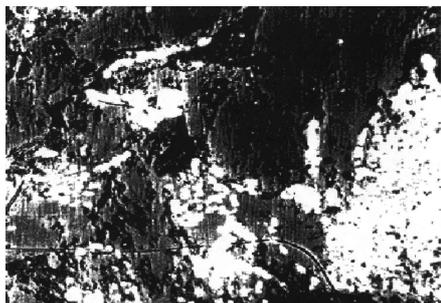


Рисунок 5 - Микроструктура продукта взаимодействия системы "оксид хрома - алюминий" ( $\times 850$ )

На основании вышеизложенного, можно предположить, что с точки зрения однородности материала и повышенной вибростойкостью, предпочтительным является применение, для состава шихты СВС - продукта, системы "окалина стали - оксид хрома - алюминий".

Структура пористого материала в таком представлении больше напоминает укладку частиц (зерен) металлической матрицы, представленную на рисунке 1. Это дает право при использовании выражения (2) условные площади контакта, по которым возможно разрушение материала, описывать выражением (4). Этим самым мы можем привязать средний диаметр частиц каркасообразующих металла к описанию условий неустойчивого

распространения трещин в материале, приводящих к его разрушению.

Значит площадь разрыва материала, приводящего к разрушению в элементарном объеме (укладке) составляет не менее  $5,652 \cdot d_q^2$ . Разрушение объема  $V_u$  изделия до отдельных элементарных объемов  $V_3$  приводят к увеличению площади разрыва  $S_p$  в  $\xi$  раз, т.е.  $\xi = V_u/V_3$ , тогда:

$$S_p = \xi \cdot S_K. \quad (5)$$

Тогда появляется возможность представить термодинамическую поверхность энергии твердого тела при учете объемности материала (в объемной постановке) в виде:

$$Y_\Gamma = \frac{\pi \sigma^2 S_p}{2 \cdot E}. \quad (6)$$

Такое представление состоятельно по двум причинам:

1. В объемной постановке задачи накопленная в твердом пористом теле и высвобождающаяся при разрушении упругая энергия вместе с дополнительной работой, затрачиваемой на резонансное разрушение, значительно выше, чем для появления трещины при плоской постановке задачи;

2. За количественную меру вязкости разрушения для предсказания напряжения, при котором наступает катастрофическое разрушение материала можно принять, учитывая геометрическую константу образца  $Y_\Gamma$  и удельную поверхностную энергию разрушения  $\gamma$  (Дж/м<sup>2</sup>), показатель:

$$K_\sigma = Y_\Gamma \left( \frac{2 \cdot E \cdot \gamma_F}{S_p} \right)^{0,5}. \quad (7)$$

Такой подход имеет место, хотя более простой подход заключается в определении доступных ограничений по резонансному разрушению материалов.

Учитывая, что в реальных условиях наблюдается сложные колебательные процессы в диапазоне от 0 до 10000 Гц и выше, необходимо не допускать резонансных явлений. В пористых проницаемых материалах. При этом для каждого образца в зависимости от жесткости материала  $K$  и его массы  $m$  должна определяться частота собственных колебаний.

Если круговая частота собственных колебаний связана с жесткостью и массой материала выражением:

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА КАТАЛИТИЧЕСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ НА ЕГО МИКРОСТРУКТУРУ

$$\omega = \sqrt{K/m}, \text{ рад/с}, \quad (8)$$

а круговая частота, с линейной  $f$  (Гц) выражением:

$$\omega_0 = 2\pi f_0, \text{ рад/с}. \quad (9)$$

То линейная частота может быть выражена:

$$f_0 = \sqrt{K/m} / 2\pi, \text{ Гц}. \quad (10)$$

Это дает возможность расчета для конкретных элементов из конкретного материала  $K = dF/dZ$ , можно определять для конкретных условий допустимые ограничения по резонансному разрушению материалов в изделиях.

В этом случае мерой вибростойкости материала, можно определить величину  $K_B$  равную отношению линейной частоты собственных колебаний образца к величине вынужденных колебаний.

$$K_B = f_0 / f. \quad (11)$$

Учитывая, что жесткость материала в пределах закона Гука представляет собой произведение модуля упругости  $E$  при растяжении сжатии на поперечное сечение  $F$  элемента:

$$K = E \cdot F. \quad (12)$$

Тогда для образца с  $E = 97 \cdot 10^3 \text{ Н/мм}^2 = 97 \cdot 10^3 \text{ МПа}$ , коэффициент жесткости для стандартного образца в виде втулки длиной 0,1 м, внешнем диаметре 0,04 м и внутреннем диаметре 0,030 м будет иметь величину  $K=53,30 \text{ МН}$ . Тогда линейная частота собственных колебаний согласно (10) будет

2,820 Гц. В то время как частоты вынужденных колебаний, например для фильтра нейтрализатора дизеля Д20НР - 250 (6Ч 15/15) соответствующие максимальных ускорениям, находятся в области свыше 400 Гц и до 500 Гц [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новоселов, А.Л. Совершенствование очистки отработавших газов дизелей на основе СВС-материалов / А.Л. Новоселов, В.И. Пролубников, Н.П. Тубалов // - Новосибирск: Наука, 2002. - 96 с.
2. Тубалов, Н.П. Формирование структуры и эксплуатационных свойств пористых СВС-материалов на основе бинарных и многокомпонентных соединений: дис. д.т.н. - Барнаул, 2005. - 276 с.
3. Коломеец, М.А. Вибрация каталитических фильтров нейтрализаторов отработавших газов дизеля / М.А. Коломеец, Н.П. Тубалов, А.Л. Новоселов // Вибростойкость каталитических нейтрализаторов для дизелей: сб. статей; под ред. д.т.н., профессора, академика РАТ А.Л. Новоселова/ Российская академия транспорта, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2012. - С. 60-65.

**Коломеец М.А.**, аспирант кафедры "Физики".

**Ситников А.А.**, д.т.н., проф. кафедры "Наземные транспортно-технологические системы".

**Медведев Г.В.**, к.т.н., доц. кафедры "Наземные транспортно-технологические системы".

**Тубалов Н.П.**, д.т.н., проф. кафедры "Физики".

**Горлова Н.Н.**, докторант, к.т.н., доц. кафедры "Экономики и организации производства".

e-mail: at-05@list.ru,  
тел. (83852) 290814