

ТЕПЛОВАЯ НАПРЯЖЕННОСТЬ КАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ В НЕЙТРАЛИЗАТОРАХ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ

Г.В. Медведев, Л.С. Александрова, А.А. Новоселов,
Д.С. Печенникова, Н.Н. Горлова

В работе приведены результаты изучения влияния тепловой напряженности каталитических материалов на основе легированной стали в нейтрализаторах отработавших газов дизелей. Получены новые знания о влиянии пористости проницаемых каталитических материалов на основе окалины легированной стали на их тепловую напряженность.

Ключевые слова: предел текучести, теплопроводность, пористые проницаемые материалы, теплоемкость, отработавшие газы, каталитические нейтрализаторы.

Материалы на основе легированной стали [1] были получены из шихты, сведения о составе которой приведены в таблице 1. Состав шихты отличался отношением содержания Fe_2O_3/Al . Это отношение составляло для материалов: С-0 - 2,374; С-1 - 2,913; С-2 - 3,654; С-3 - 4,739; С-4 - 6,481. Отношение Fe_2O_3/Al оказывает влияние на изменение на предел текучести $\sigma_{0,2}$ как при одинаковых температурах, так и в зависимости от температур. Необходимо отметить нелинейный характер изменения $\sigma_{0,2}$ в зависимости от температуры.

В результате обработки экспериментальных данных получена математическая зависимость, связывающая предел текучести материалов, температуру и соотношение Fe_2O_3/Al в составе шихты:

$$\sigma_{0,2} = 868,9 - 2,016T + 0,001T^2 + 8,449C_{Fe_2O_3}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где T - температура пористого проницаемого СВС - каталитического материала;

$C_{Fe_2O_3}$ - концентрация окалины стали, % по массе.

Предел текучести материалов соответствует напряжению растяжения при пластической деформации на 0,2 %. Этот критерий определяется в зависимости σ - ϵ (напряжение-удлинение) при стандартных испытаниях на растяжение.

Коэффициент предела текучести γ определяется как отношение предела текучести (0,2 %) при циклическом нагружении к пределу текучести (0,2 %) при однородном нагружении. Если $\gamma=1$, то указывает на разупрочнение материала.

Обнаруженная закономерность изменения предела текучести материала от температуры не является универсальной для всех материалов и относится только к пористым

проницаемым СВС-каталитическим на основе окалины легированной стали [2].

Увеличение отношения Fe_2O_3/Al по массе в составе шихты с 2,374 до 6,481 приводит к возрастанию предела текучести, например, при 800 К [4] с 185 до 300 МПа или в 1,62 раза. А это значит, что при увеличении отношения Fe_2O_3/Al можно добиваться повышения предела текучести материала и тем самым повысить его прочность. Однако следует помнить и о том, что увеличение отношения Fe_2O_3/Al свыше 3,654 приводит к повышению хрупкости СВС-материалов.

Теплоносителем - движущей средой, используемой для переноса теплоты в каталитических нейтрализаторах, выступают очищаемые отработавшие газы. Известно, что количество теплоты, передаваемое через стенку прямо пропорционально разности температур, площади поверхности F и времени t и обратно пропорционально толщине стенки $\delta_{ст}$.

По определению теплопроводность λ - величина, равная отношению количества теплоты, перенесенного через единичную плоскую поверхность, нормальную вектору температуры, равном единице, ко времени, в течение которого эта теплота перенесена:

$$\lambda = 1 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К}). \quad (2)$$

В результате определения теплопроводности пористых проницаемых СВС-каталитических материалов на основе легированной стали было обнаружена нелинейность закономерностей ее изменения в зависимости от температуры для всех исследованных составов шихты.

Знание закономерности изменения коэффициента теплопроводности дает возможность определяться с теплопроводностью материалов. Но поскольку в существующей зависимости для определения температуропроводности:

**ТЕПЛОВАЯ НАПРЯЖЕННОСТЬ КАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ В НЕЙТРАЛИЗАТОРАХ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ**

$$a = \lambda / c_p \rho. \quad (3)$$

Необходимы сведения об удельной теплоемкости при постоянном давлении C_p и плотности материала ρ , а сведения о них отсутствуют в научно-технической литературе, то такие исследования были проведены нами.

Величина теплопроводности материала с тепломеханической характеристикой

$$k = aE/\lambda, \quad (4)$$

и со значением критерия Bi_0 при определении тепловой напряженности материала:

$$\sigma_t = kq\delta \left(\frac{Bi_0 + 1}{Bi_0} \right), \quad (5)$$

где $Bi_0 = a_0\delta/\lambda$; λ - теплопроводность материала, Вт/(м·К); a_0 - коэффициент теплообмена (теплоотдачи) материала, Вт/(м²·К).

Таблица 1 – Данные о составах шихты, характеристиках и свойствах СВС-каталитических материалов на основе окалины стали

Отдельные характеристики	Варианты комплектации состава шихты				
	С-0	С-1	С-2	С-3	С-4
<i>Содержание компонентов шихты, в процентах по массе</i>					
Окалина легированной стали (18ХНВА, 18ХНМА, 40ХНМА и др.)	42,50	45,00	47,50	50,00	52,50
Оксид хрома	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
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	12,40	12,40	12,40	12,40
Алюминий по ТУ 485-22-87 марки АСД-1	17,90	15,45	13,00	10,55	8,10
Иридий	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Родий	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Медь	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<i>Физические характеристики</i>					
Средний приведенный диаметр пор, мкм	177	167	155	135	112
Извилистость пор при $\delta_{cm}=10$ мм	1,12	1,15	1,19	1,24	1,35
Удельная поверхность материала, м ² /г	133	118	105	94	85
Пористость	0,47	0,45	0,42	0,36	0,29
Проницаемость по воздуху $\times 10^{-12}$, м ²	2,55	2,46	2,17	1,80	1,20
<i>Физико-механические свойства</i>					
Механическая прочность при сжатии, МПа	13,8	11,9	10,1	8,7	6,7
Механическая прочность при изгибе, МПа	3,7	3,5	3,2	3,1	2,9
Ударная вязкость, Дж/м ²	0,31	0,29	0,249	0,225	0,151
Модуль упругости, $E \times 10^3$, МПа (298 К)	101	106	111	115	118
Предел текучести, МПа (T=798 К)	295	275	260	240	190
<i>Теплофизические свойства (T=798 К)</i>					
Теплопроводность, Вт/(м·К)	760	775	785	794	801
Температуропроводность, $\times 10^{-3}$, м ² /с	0,374	0,375	0,376	0,376	0,379
Коэффициент теплообмена, Вт/(м ² ·К)	2,281	2,287	2,290	2,292	2,294
Предельная теплонапряженность, $\times 10^3$, Вт·МПа/м ²	11,140	11,180	11,250	11,350	11,500
<i>Свойства коррозионной стойкости</i>					
Потеря массы в смеси кислоты, %	11,8	12,2	13,3	14,0	15,9
Газотермическая коррозия, %	18,3	16,0	13,6	11,9	10,7
Низкотемпературная коррозия, %	13,1	12,4	12,0	11,5	11,3
<i>Функциональные свойства материала</i>					
Снижение концентраций СО, %	80	81	84	85	85
Снижение концентраций NO _x , %	56	53	50	40	28
Снижение концентраций C _x H _y , %	56	58	58	58	58
Снижение концентраций ТЧ, %	90	90	91	92	92

Таким образом, нелинейный характер изменения теплопроводности материалов на основе окалины стали, полученные высокотемпературным синтезом закладывает нелинейность изменения предельной тепловой напряженности в зависимости от температуры.

Уровень температурного состояния ма-

териалов во многом определяет надежность и долговечность деталей их них. Теплопроводность пористых проницаемых материалов на основе окалины легированной стали повышается при изменении температуры в диапазоне 500-800 К и зависимость λ от температуры нелинейна для всех рассматриваемых

мых составов шихты: теплопроводность материалов возрастает вместе с относительным увеличением по массе Fe_2O_3 . В результате обработки данных экспериментальных исследований получено выражение

$$\lambda = 713 - 1,0T + 5,0C_{Fe_2O_3}, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}, \quad (6)$$

где T - температура, К;

$C_{Fe_2O_3}$ - концентрация окалины стали в процентах по массе.

Вернемся к критерию Vi_0 и обнаружим присутствие отношения δ/λ . Между тем, это отношение является выражением, характеризующим тепловое сопротивление.

Характер изменения теплового сопротивления в зависимости от температуры выявил определенную закономерность, связывающую тепловое сопротивление с толщиной теплопередающей стенки из пористого проницаемого материала. Характер изменения зависимости δ/λ от температуры нелинейный. Особенно нелинейность зависимости проявляется с увеличением толщины стенки из пористого материала. Необходимо обратить внимание, что значение критерия Vi_0 прямо пропорционально тепловому сопротивлению материала, а изменение последнего связано с температурой.

На основании обработки данных экспериментального исследования была получена математическая зависимость, связывающая тепловое сопротивление материала на основе окалины легированной стали, полученного высокотемпературным синтезом, с толщиной и температурой стенки фильтрующего элемента: $\delta/\lambda = 0,829 + 0,005T + 1,369\delta, \times 10^{-3}, \text{ м}^2\text{К/Вт}, \quad (7)$

где λ - теплопроводность материала; δ - толщина стенки, м; T - температура стенки, К.

Проявление влияния состава материалов на их тепловое сопротивление происходит через закономерность изменения теплопроводности, которая как раз и определяется во многом сочетании отдельных компонентов шихты.

Обнаружено, что при 800 К для толщин стенок: 15; 12,5; 10; 5,0; 2,5 мм - значения теплового сопротивления составляет 18,73; 15,61; 12,48; 6,24; 3,12 $\text{м}^2\text{К/кВт}$. Для материалов с толщиной стенки 5 мм из шихты: С-0 - 6,58; С-1 - 6,45; С-2 - 6,36; С-3 - 6,28; С-4 - 6,24 $\text{м}^2\text{К/кВт}$.

Таким образом, теплофизические характеристики пористых проницаемых СВС-каталитических материалов увязываются с составом шихты для их получения.

Изучение влияния температуры на теплоемкость пористых проницаемых материалов, полученных на основе окалины высокотемпературным синтезом показало, что теп-

лоемкость материалов с разными составами шихты изменялась в зависимости от температуры идентично. Определение теплоемкости оказалось необходимым при определении температуропроводности материалов, а сведения в научно-технической и справочной литературе отсутствуют.

В результате обработки экспериментальных данных было получено выражение, связывающее теплоемкость конкретного материала с его температурой и концентрацией окалины стали. Зависимость линейна и имеет вид:

$$C_p = 0,282 + 0,500 \cdot 10^{-3} T, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}, \quad (8)$$

где T - температура материала, К.

Зависимость носит частный характер, однако дает представление о закономерности изменения теплоемкости от температуры.

Необходимо отметить, что для значительного изменения теплоемкости материалов температурный диапазон, рассматриваемый в данной работе, оказался слишком узок (500-800 К). Этим объясняется и кажущаяся практическая неизменность влияния состава шихты материалов на теплоемкость. С другой стороны влияние состава на температуропроводность сказывалось как через теплопроводность, так и через плотность материалов.

Ранее не описывалось зависимостей температуропроводности пористых проницаемых материалов, полученных высокотемпературным синтезом на основе окалины легированной стали. Поэтому, определив зависимости от температуры теплопроводности и теплоемкости материалов, появилась возможность определения их температуропроводности. Этому предшествовало определение плотности материалов, которая связана с составом каждого из них. Сложность в определении плотности материалов состоит в том, что ее значение имеют значительный разброс, вызванный неоднородностью отдельных образцов.

Зависимость температуропроводности от температуры описана выражением:

$$a = (327 - 0,09T + 0,0002T^2) \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (9)$$

где T - температура материала, К.

Особенность пористых проницаемых материалов, полученных высокотемпературным синтезом является их развитая пористость, влияющая на плотность материала. Поэтому в известном выражении для температуропроводности материалов $a = \lambda / (C_p \rho)$ вместо ρ необходимо вводить $\rho(1-P)$. тогда выражение для определения температуропроводности пористых материалов приобретает другой вид: $a = \lambda / (C_p \rho(1-P))$.

ТЕПЛОВАЯ НАПРЯЖЕННОСТЬ КАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ В НЕЙТРАЛИЗАТОРАХ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ

По своим значениям температуропроводность всех пористых проницаемых каталитических материалов на основе окалины легированной стали имеет незначительные отличия.

При изменении температуры с 520 до 820 К значения температуропроводности пористых материалов на основе окалины легированной стали возрастало в среднем в 1,186 раза.

Важнейшим показателем, участвующим в определении показателя тепловой напряженности материала является коэффициент теплообмена α . Для определения его производилась оценка теплового потока и площади материалов, воспринимающей тепло, исходя из массы СВС - каталитического материала, необходимой для обеспечения очистки газов.

Изменение коэффициента теплообмена в зависимости от температуры, носит нелинейный характер, и было описано нами выражением:

$$\alpha = 1,95 + 0,4 \cdot 10^{-3} T, \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}, \quad (10)$$

где T - температура, К.

При очистке отработавших газов мы имеем дело с условно постоянным тепловым потоком, который определяется как расход тепла:

$$\Phi = Q / \tau, \text{ Дж/с}, \quad (11)$$

где Q - тепло потока, Дж; τ - время, т.

Но нас интересует плотность теплового потока:

$$q = \Phi / F, \text{ Вт/м}^2, \quad (12)$$

где F - площадь тепловоспринимающей поверхности, м².

Тогда коэффициент теплообмена (теплоотдачи):

$$\alpha = \Phi / (F \cdot \Delta T), \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}. \quad (13)$$

Определение значений коэффициента теплообмена для пористых проницаемых каталитических материалов, высокотемпературным синтезом имеет научное и практическое значение:

- определены численные значения коэффициента теплообмена для материалов на основе окалины легированной стали;

- выявлены закономерность изменения коэффициента теплообмена для одного из составов в зависимости от температуры в диапазоне рабочих температур каталитического нейтрализатора при 500-800 К;

- открыта возможность для проведения расчетных исследований тепловой напряженности каталитических фильтров из пористых проницаемых материалов на основе легированной стали, полученных высокотемпературным синтезом;

- при увеличении температуры с 520 до 820 К коэффициент теплообмена материала (С-2) на основе окалины стали возрастает в 1,05 раза.

Наибольшие термические нагрузки и деформации в каталитических нейтрализаторах отработавших газов двигателей обусловлены высокими рабочими температурами и им подвержены фильтрующие элементы из пористых проницаемых СВС-каталитических материалов. Термические нагрузки принято характеризовать уровнем температур и температурным перепадом. Если термическая напряженность фильтрующего элемента превышает допустимый предел, он выходит из строя вследствие закоксовывания или разрушения.

По данным исследований, проведенных авторами с применением термометрирования фильтрующих элементов нейтрализаторов, максимально допустимая температура материалов на основе окалины легированной стали (состав шихты С-0 - С-4) не должна превышать 780 К. Это частично объясняется наличием в составе материалов алюминия и меди.

В качестве критерия теплонапряженности выступает показатель σ_t , имеющий размерность Вт·МПа/м². Известно, что увеличение температуры с 293 до 673 К приводит к снижению твердости алюминиевых сплавов в 10 раз, а температурный коэффициент линейного расширения изменяется (с 18,0 до 20,0) $\times 10^6$ 1/К.

Уровень температурного состояния материала во многом определяет надежность и долговечность нейтрализатора.

Для данного материала (состав шихты С-2) получена математическая зависимость, описывающая влияние температуры на тепловую напряженность материала:

$$\sigma_t = 1,103 - 0,023T + 30 \cdot 10^{-6} T^2, \times 10^3, \text{ Вт·МПа/м}^2, \quad (14)$$

где T - температура материала, К.

Отсутствие сведений о влиянии приведенного диаметра пор на тепловую напряженность материалов не позволяет оценивать её влияние на долговечность и надежность изделий.

Параметр тепловой напряженности σ_t является универсальным, поскольку дает возможность производить сравнительную оценку материалов с учетом их тепломеханической характеристики k , теплового потока q , толщины стенки фильтрующего элемента и величины критерия Bi_0 .

Как правило, в литературе при указании ограничений по тепловой напряженности материалов, не указывается средний приведенный диаметр пор.

Экспериментально определено на образцах фильтров стандартных размеров, при одинаковой температуре $T=798$ К влияние среднего приведенного диаметра пор на тепловую напряженность материалов. Зависимость σ_t от d_n имеет нелинейный характер. Выявлено, что при росте среднего диаметра пор в 1,58 раза тепловая напряженность материала на основе окалина легированной стали снижается в 1,41 раза.

Обработка экспериментальных данных позволила описать результаты математической зависимостью:

$$\sigma_t = 4,544 + 0,141 d_n - 0,700 \cdot 10^{-3} d_n^2, \times 10^3, \text{ Вт}\cdot\text{МПа}/\text{м}^2, \quad (15)$$

где d_n - средний приведенный диаметр пор, мкм.

Таким образом, получены новые представления о тепловой напряженности пористого пористого каталитического материала, новые знания о влиянии среднего приведенного диаметра пор на тепловую напряженность.

Снижение тепловой напряженности при увеличении среднего приведенного диаметра пор в материале объясняется сокращением доли пристеночного течения горючих газов в порах, ухудшением условий теплоотдачи в массу материала.

Влияние извилистости пор в пористом каталитическом материале его тепловая напряженность в известной литературе не описано, хотя упоминается о влиянии на прочностные качества. В целях получения знаний о зависимости тепловой напряженности материала от извилистости пор в нем, путем селективного отбора были выделены образцы с различной извилистостью пор и на них проведены опыты позволившие определить тепловую напряженность каждого из них.

В результате обработки экспериментальных данных получена математическая зависимость, описывающая влияние извилистости пор ξ_H на тепловую напряженность σ_t в виде выражения ($\text{Вт}\cdot\text{МПа}/\text{м}^2$):

$$\sigma_t = -70,2 + 120 \xi_H - 43,9 \xi_H^2, \times 10^3, \quad (16)$$

где ξ_H - извилистость пор.

Такая зависимость описана впервые и дает возможность производить оценку влияния извилистости пор на тепловую напряженность материала на стадии его проектирования.

Рост тепловой напряженности с ростом извилистости пор объясняется увеличением пристеночного течения горючих газов в порах пористого материала.

Извилистость пор в пористом каталитическом

каталитическом материале вносит существенные коррективы в условия теплообмена и теплопередачи при протекании газов и в конечном итоге - на тепловую напряженность материала. Так увеличение извилистости пор в материале из шихты С-2 с 1,12 до 1,35 или на 20,5 % приводит к росту тепловой напряженности материала в стандартном изделии на 32,5 %.

В литературе не описано такое проявление извилистости пор в пористых каталитических материалах на основе окалина легированной стали на тепловую напряженность при изменении температуры, поэтому результаты необходимо признать новыми.

Влияние пористости на тепловую напряженность определялось по воздуху. В наиболее пористых материалах перенос теплоты совершается горячими газами и, чем выше пористость материала, тем больше тепла передается в него. Исходя из таких рассуждений, получены экспериментальные данные о влиянии пористости материала вполне объяснимы. Экспериментальные данные описаны математической зависимостью, связывающей уровень тепловой напряженности с пористостью материала. Зависимость имеет вид ($\text{Вт}\cdot\text{МПа}/\text{м}^2$):

$$\sigma_t = 2,63 + 5,14 K_{\text{пр}} - 0,740 K_{\text{пр}}^2, \times 10^3, \quad (17)$$

где $K_{\text{пр}}$ - пористость материала по воздуху, м^2 .

В литературе есть упоминание об оценке пористости пористых материалов [2]. Однако нет сведений о влиянии пористости материалов на тепловую напряженность. Поэтому полученные данные являются новыми и дают новые представления о теплопередаче в пористых материалах, полученных высокотемпературным синтезом.

Существование показателя пористости не следует даже о каком-то приближении отождествлять с пористостью материала, средним приведенным диаметром пор, извилистостью пор. Все они имеют между собой лишь косвенные связи. В тоже время результаты оценки говорят о том, что при увеличении пористости пористого каталитического материала на основе легированной стали в пределах 1,24 - 2,58 $\text{м}^2 \times 10^{-2}$ или на 108 % тепловая напряженность возрастает на 37,5 %.

Данное обстоятельство следует учитывать при проектировании состава и свойств пористых пористых каталитических материалов на основе окалина легированной стали [3].

ТЕПЛОВАЯ НАПРЯЖЕННОСТЬ КАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ В НЕЙТРАЛИЗАТОРАХ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ

Развитие пористости в СВС-материале не означает рост его тепловой напряженности в силу следующих обстоятельств:

- характеристика пористости материала не предполагает выделение закрытых пор и тупиковых пор, которые практически не оказывают влияние на тепломассообмен;

- при оценке пористости материала включаются так же пустоты, как резковидность пор, но имеющие значительные относительные размеры и не оказывающие влияние на тепломассообмен.

В литературе отсутствуют сведения о влиянии пористости на тепломассообмен в проницаемых материалах, а о влиянии пористости материалов на тепловую напряженность нет даже упоминаний. Хотя эти данные во многом бы обеспечили объяснения реально существующих процессов.

В целях восполнения таких знаний был проведен комплекс экспериментальных исследований на селективно отобранных стандартных образцах фильтров.

Экспериментальные данные описаны математической зависимостью, связывающей уровни тепловой напряженности и пористости проницаемого материала в виде ($\text{Вт}\cdot\text{МПа}/\text{м}^2$):

$$\sigma_t = -4,92 + 96,2 P - 142 P^2, \times 10^3, \quad (18)$$

где P - пористость материала.

Обнаружено, что для пористых проницаемых СВС-материалов на основе окалины стали (состав шихты С-2) при увеличении пористости структур с 0,33 до 0,47 или на 23,7% теплонапряженность материала при $T=793$ К падает в 1,28 раза, что является хорошо физически объяснимым.

Таким образом, получены новые знания о влиянии пористости проницаемых каталитических материалов на основе окалины легированной стали на их тепловую напряженность.

Тепломеханическая характеристика материала по своей величине прямо пропорциональна значению модуля упругости Юнга.

В свою очередь значение модуля упругости связано не только с коэффициентом теплообмена и с коэффициентом теплопроводности, но и с температурой материала. Ранее для подобных пористых проницаемых каталитических материалов такой зависимости установлено не было.

Используя данные экспериментальных исследований, обработкой методом наименьших квадратов была получена зависимость, связывающая значение модуля упругости с температурой материала (МПа): (19)

$$E = 17,4 + 0,112T - 0,0001T^2 + 1,42C_{\text{Fe}_2\text{O}_3}, \times 10^3$$

где T - температура пористого СВС-каталитического материала; $C_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ - концентрация окалины стали, % по массе.

В результате проведения научных исследований получены новые научные знания о характеристиках и свойствах пористых проницаемых каталитических материалов на основе окалины легированной стали, полученные самораспространяющимся высокотемпературным синтезом.

Ценность знаний об изменении модуля упругости в зависимости от температуры заключается в том, что появляется возможность к переходу использования данных при расчетах методом конечных элементов конкретных фильтрующих элементов из пористых проницаемых каталитических материалов их тепловой напряженности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евстигнеев, В.В. Пористые проницаемые материалы в системе оксиды железа - оксиды кремния - алюминий / В.В. Евстигнеев, В.И. Пролубников, Н.П. Тубалов // Перспективные материалы. - 2006. - №2. - С. 48-49.
2. Гайнеман, А.А. Формирование структуры и эксплуатационные свойства пористых металлокерамических материалов на основе окалины легированных сталей / А.А. Гайнеман, О.А. Лебедева, А.В. Маецкий, Н.П. Тубалов // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: 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, 2007. - С. 77-87.
3. Батаев, А.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник / А.А. Батаев, В.А. Батаев. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. - 384 с.
4. Мельберт, А.А. Диапазоны рабочих температур катализаторов для очистки отработавших газов дизелей / А.А. Мельберт, М.Л. Тихомиров, Г.В. Медведев, Б.Ф. Бекбаев // Ползуновский вестник. -2009. -№1-2. - С. 93-98.

Медведев Г.В., к.т.н., доц. кафедры "Автомобили и тракторы", докторант

Александрова Л.С., аспирант кафедры "Экспериментальная физика"

Новоселов А.А., к.т.н., инженер, докторант кафедры "Автомобили и тракторы"

Печенникова Д.С., аспирант кафедры "Автомобили и тракторы"

Горлова Н.Н., к.т.н., доц. кафедры "Экономики и организации производства", докторант ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», e-mail: at-05@list.ru, тел. (83852) 290815