

Выводы:

Расчеты изобарно-изотермического потенциала для железо-алюминиевого и алюминий-титанового термитов показали, что для рассмотренных реакции в температурном диапазоне от 500 К до 4000 К $\Delta G < 0$. Химические реакции термодинамически устойчивы и протекают самостоятельно.

Анализ результатов термодинамических расчетов позволил установить, что железо-алюминиевый термит содержит больше как конденсированной (16,600 моль/кг), так и газовой фазы (0,345 моль/кг) в отличие от алюминий-титанового термита (10,850 моль/кг – содержание в продуктах сгорания конденсированной фазы; 0,006 моль/кг – содержание в продуктах сгорания газовой фазы).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Горшков В.А. и др. Химический и фазовый составы продуктов горения смесей термитного типа на основе оксидов хрома, лантана и кальция / В.А. Горшков, А.А. Самборук, В.И. Юхвид // Хим. физика. – 2009.– N 28 (10).–С. 48 - 51.
2. Абдуллин И.А., Белобородова О.И. Тепловые пиротехнические составы. Свойства, технология, применение: Учебное пособие. – Казань: Казан. гос. технолог. ун-т., 2004. –120 с.
3. Ловшенко Ф.Г. и др. Термодинамическое моделирование физико-химических процессов и оптимизация технологии плазменного нанесения покрытий из механически легированных терморреагирующих порошков / Ф.Г. Ловшенко, Г.Ф. Ловшенко, Б.Б. Хина, З.М. Ловшенко, А.С. Федосенко // Литье и металлургия. – 2012.– N 2 (65).–С. 116 –128.

Научный руководитель: Т.И. Горбенко, к.ф.-м.н., доцент ФТФ ТГУ.

**РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
УГЛЕРОДНОЙ МАТРИЦЫ КРИПТОЛА**

Р.А. Вислогузов, А.В. Астафьев
Томский политехнический университет
ЭНИН, ПГС и ПГУ, группа 5ВМ6Б

Энергетика по-прежнему остается главным источником загрязнения окружающей среды [1]. В связи с этим мировое научное сообщество продолжает поиск направлений экологичного энергообеспечения.

Одним из перспективных решений, позволяющим организовывать автономное теплоснабжение за счет утилизации жидких углеводородных отходов, при относительно низких выбросах оксида азота (NO_x) является теплогенератор беспламенного горения [2]. беспламенный режим горения обеспечивается путем сжигания отходов в слое пористого углеродного наполнителя – криптола,

являющегося отходом металлургической промышленности. Конструкторская разработка подобных технических решений требует знания теплотехнических характеристик криптола таких, как теплоемкость, теплопроводность и коэффициент теплопередачи. Задача определения этих характеристик традиционными методами [3, 4] осложняется тем, что в теплогенераторе криптол использован в виде пористого слоя засыпки. Необходима разработка специальной лабораторной базы, позволяющей определять теплофизические характеристики углеродной матрицы криптола.

В связи с вышеперечисленным, целью настоящей работы ставится разработка экспериментальных стендов для определения теплофизических характеристик углеродной матрицы криптола.

Для определения теплофизических характеристик криптола (теплоемкости, теплопроводности, коэффициента теплопередачи) разработано два экспериментальных стенда, изображенных на рис. 1 и 2. Определение теплоемкости и теплопроводности пористой матрицы криптола осуществлялось следующим образом. Изолированная металлическая труба 4 (диаметр 169 мм, толщина стенки 5,5 мм) устанавливалась на нагревательный элемент 1 (рис. 1), после чего в неё засыпался криптол 6. В засыпанный слой криптола устанавливались измерительные термопары 7, соединенные с переключателем термопар 9 и термометром 10. Термопары расположены на трех уровнях (по высоте): первый находится на расстоянии 20 мм от нагревательного элемента, второй – 45 мм, третий – 70 мм. Для проверки точности получаемых данных предусмотрены контрольные термопары 8, расположенные на том же уровне, что и измерительные. Мощность нагревательного элемента составила 1 кВт.

Коэффициент теплопередачи криптола определялся расчетным путем на основе данных, полученных на специальном экспериментальном стенде (рис. 2). Для этого криптол 6 предварительно нагревался в электропечи до температуры 400°C, выдерживался при данной температуре в течение получаса. Нагретый криптол засыпался в изолированную керамическую трубу 4 (диаметр 26 мм, толщина стенки 2 мм). По высоте керамической трубы устанавливались термопары 6: первая на расстоянии 40 мм от начала засыпки, вторая – 100 мм. На входе в керамическую трубу и на выходе из неё (рис. 2, поз. 7, верхняя термопара) измерялась температура воздуха. Расход и напор воздуха определялись при помощи ротаметра и трубчатого манометра.

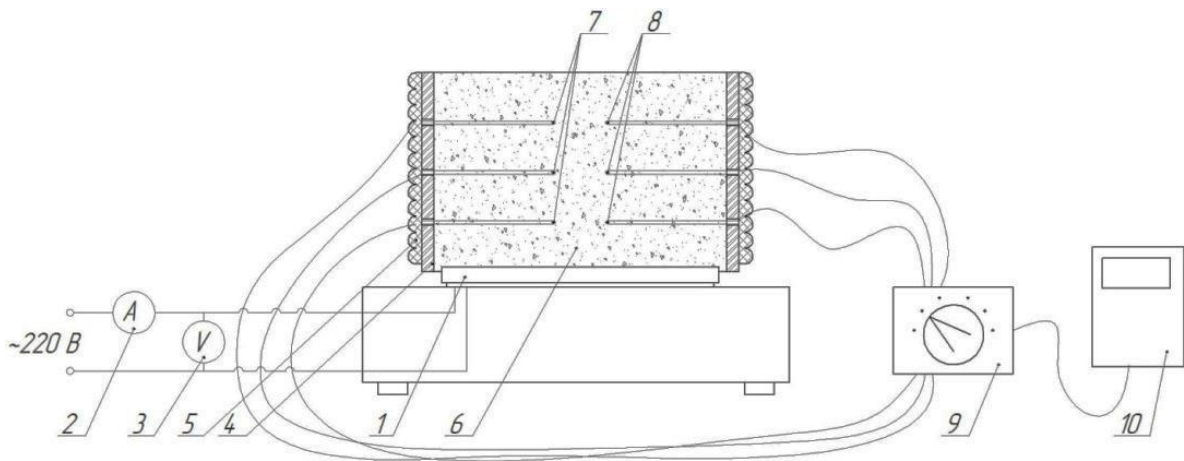


Рис. 1. Экспериментальный стенд для определения теплоемкости и теплопроводности криптола: 1 – нагревательный элемент; 2 – амперметр; 3 – вольтметр; 4 – металлическая труба; 5 – теплоизоляция; 6 – криптол; 7 – измерительные термопары; 8 – контрольные термопары; 9 – переключатель термопар; 10 – термометр.

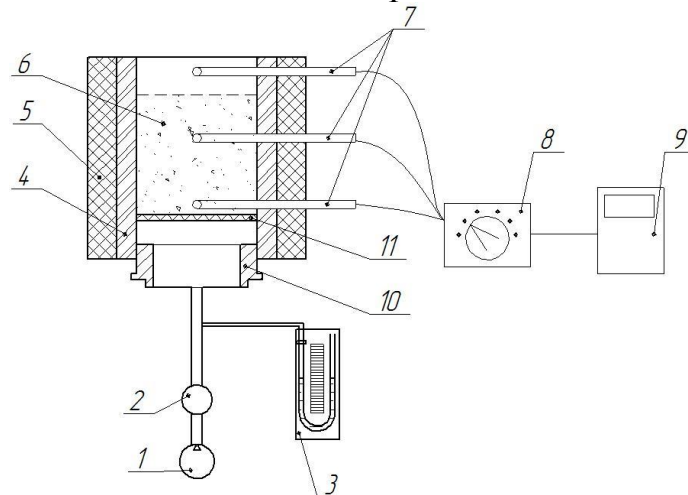


Рис. 2. Экспериментальный стенд для определения коэффициента теплопередачи криптола: 1 – компрессор; 2 – ротаметр РМ-6.3; 3 – U-образный трубчатый манометр; 4 – керамическая труба; 5 – теплоизоляция; 6 – криптол; 7 – измерительные термопары; 8 – переключатель термопар; 9 – термометр; 10 – соединительная муфта; 11 – металлическая сетка

Значения температуры, которая является определяющей величиной для исследуемых параметров (теплоемкости, теплопроводности, коэффициента теплопередачи), существенно изменяются в пространстве и времени. Для установки зависимостей между этими величинами применялись методы математической физики. Изменение температурного поля во времени через дифференциальное уравнение теплопроводности записывается в следующем виде:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\rho c} \operatorname{div}(\lambda \cdot \operatorname{grad} T) + \frac{q}{\rho c}, \quad (1)$$

где T – температура, К; t – время, с; ρ – плотность криптола кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности Вт·м·К⁻¹; c – теплоемкость криптола Дж/кг; q – подведенное извне количество теплоты, Вт.

Для численного решения этого уравнения применялись следующие допущения: слой криптола однороден и изотропен; термическая деформация

криптола очень мала по сравнению с его объемом (т.е. плотность криптола постоянна).

При математической обработке данных эксперимента на первом стенде (рис. 1) ставилась задача определения теплоемкости и теплопроводности. На границах расчетной области принимались граничные условия: второго рода со стороны нагревательного элемента и третьего рода – при контакте с окружающей средой. Металлическая трубка считалась термически изолированной, и в уравнении (1) подведенное извне количество теплоты q принималось равным нулю.

Для решения (1) частные производные были заменены конечноразностными аналогами, т.е. выбраны такие бесконечно малые элементарные промежутки времени dT и объемы dx , в пределах которых изменение температуры линейно.

Интегрируя полученные уравнения, получены аналитические зависимости температуры в контрольных точках для всей области интегрирования по времени. Допустим, что функции теплоемкости $c(T)$ и теплопроводности $\lambda(T)$ от температуры будут иметь квадратичный вид, тогда уравнивая полученные зависимости с показаниями термопар в каждый момент времени, можно по методу наименьших квадратов получить вид функций:

$$c(T) = -0,00163T^2 + 0,834T + 672,8; \quad (2)$$

$$\lambda(T) = 2,54 \cdot 10^{-8}T^2 - 0,000185T + 0,282. \quad (3)$$

Интегрирование дифференциального уравнения теплопроводности (1) с подстановкой в него полученных функциональных зависимостей дало близкие к значениям температуры в точках замеров на первом стенде (рис. 3).

При моделировании эксперимента на втором стенде (рис. 2) ставилась задача определения коэффициента теплопередачи α ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$) от криптола воздуху по уравнению Ньютона-Рихмана $q = \alpha(T - T_{\text{воздуха}})$. Значение q при математической обработке определялось как подведенное извне количество теплоты из уравнения (1), подстановкой в последнее полученных функциональных зависимостей (2) и (3). Коэффициент теплопередачи α считался функцией температуры (рис. 4).

Результаты экспериментальных исследований в сочетании с математической обработкой уравнения теплопроводности позволили установить зависимости изменения теплоемкости и теплопроводности криптола от температуры. Значения, определенные на основе выведенных зависимостей, показали хорошее совпадение с результатами физического эксперимента (рис. 3).

На основе полученных результатов выведена аналитическая зависимость коэффициента теплоотдачи криптола для фракции 5-10 мм от температуры.

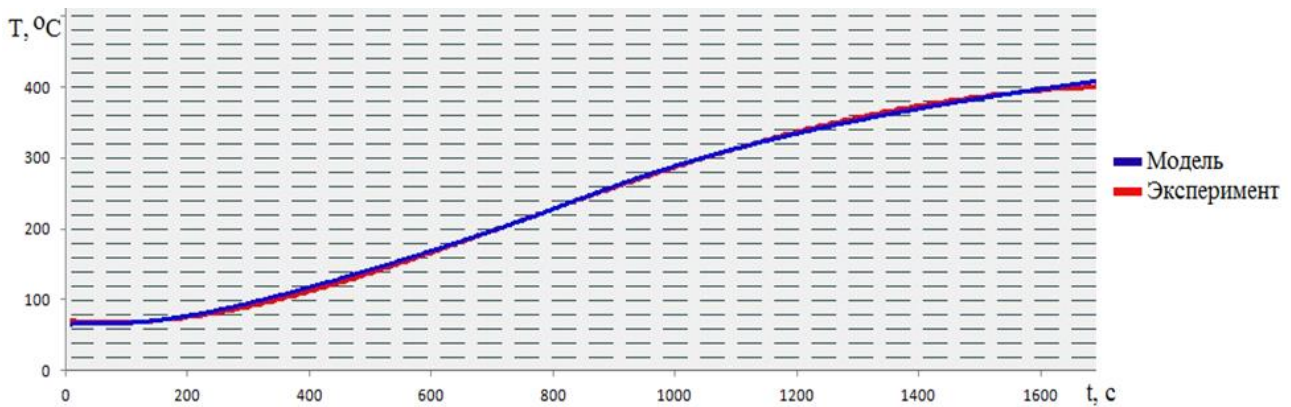


Рис. 3. Динамика изменения температуры в одной из контрольных точек по результатам математического моделирования и физического эксперимента

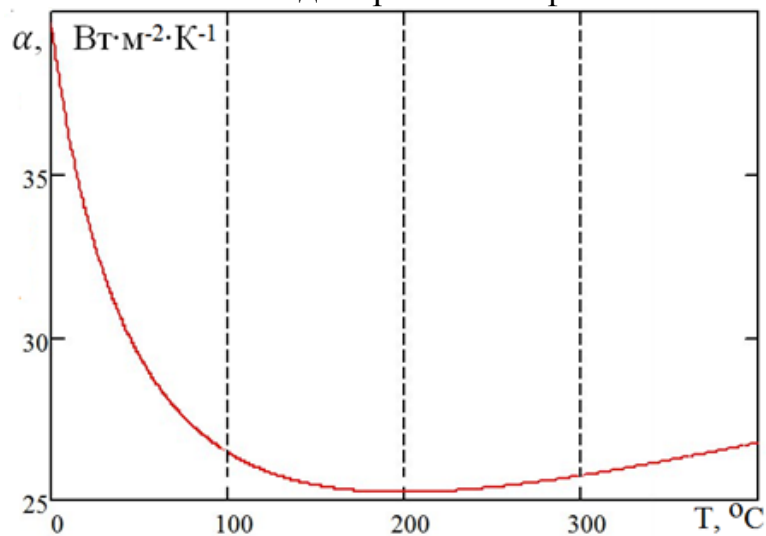


Рис. 4. Аналитическая зависимость коэффициента теплоотдачи от температуры.

ЛИТЕРАТУРА:

1. World Energy Outlook Special Report. Energy and Air Pollution. – Paris: International Energy Agency, 2016. – 266 p.
2. Долгов С.В., Хаустов С.А., Табакаев Р.Б. Тестирование конструктивного исполнения технических решений по огневой утилизации жидких углеводородных отходов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 9. – С. 49-56.
3. Ковылин А.В., Фокин В.М. Методика определения коэффициентов теплопроводности, теплоусвоения, тепловой инерции, температуропроводности и объемной теплоемкости строительных и теплоизоляционных материалов методом неразрушающего контроля // Вестник ВолгГАСУ. – 2010. – № 19. – С. 112-117.
4. Шаталова Т.Б., Шляхтин О.А., Веряева Е. Методы термического анализа. – М.: Изд-во Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2011. – 72 с.

Научный руководитель: Р.Б. Табакаев, к.т.н., научный сотрудник каф. ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.