

## 5. Висновки

В результаті проведених досліджень доведено, що:

1. Поглинання світла напівпровідниками обумовлено переходами між енергетичними станами зонної структури. Одним із параметрів напівпровідників, який змінюється залежно від довжини хвилі є показник заломлення  $n$ .
2. Дійсна і уявна частини показника заломлення в різних напівпровідникових матеріалах змінюються майже за однаковим законом.
3. Одним важливим параметром, який залежить від довжини хвилі є коефіцієнт поглинання.

## Література

1. Лисенко, Г. Л. Елементарна комірка оптичного транспаранта для оптоелектронних обчислювальних комплексів на SEED-структурах [Текст] / Г. Л. Лисенко, І. В. М'якіська // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2007. — № 5. — С. 90–94.
2. Федоров, А. В. Оптические свойства полупроводниковых квантовых точек [Текст] / А. В. Федоров, И. Д. Рухленко, А. В. Баранов, С. Ю. Кручинин. — СПб.: Наука, 2011. — 188 с.
3. Надькин, Л. Ю. Исследование оптических свойств полупроводника в экситонной области спектра под действием мощного импульса накачки и слабого зондирующего импульса [Текст]: автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.21 / Л. Ю. Надькин. — М., 2013. — 15 с.
4. Dmitruk, N. Morphology, Raman scattering and photoluminescence of porous GaAs layers [Text] / N. Dmitruk, S. Kutovyi, I. Dmitruk, I. Simkiene, J. Sabataityte, N. Berezovska // Sensors and Actuators B: Chemical. — 2007. — Vol. 126, № 1. — P. 294–300. doi:10.1016/j.snb.2006.12.027
5. Simkiene, I. Formation of Porous  $n$ - $A^3B^5$  Compounds [Text] / I. Simkiene, J. Sabataityte, A. Kindurys, M. Treideris // Acta Physica Polonica A. — 2008. — Vol. 113, № 3. — P. 1085–1090.
6. Anedda, A. Time resolved blue and ultraviolet photoluminescence in porous GaP [Text] / A. Anedda, A. Serpi, V. A. Karavanskii, I. M. Tiginyanu, V. M. Ichizli // Applied Physics Letters. — 1995. — Vol. 67, № 22. — P. 3316–3318. doi:10.1063/1.115232

7. Kuriyama, K. Characterization of porous GaP by photoacoustic spectroscopy: The relation between band-gap widening and visible photoluminescence [Text] / K. Kuriyama, K. Ushiyama, K. Ohbora, Y. Miyamoto, S. Takeda // Physical Review B. — 1998. — Vol. 58, № 3. — P. 1103–1105. doi:10.1103/physrevb.58.1103
8. Смит, Р. Полупроводники [Текст]: пер. с англ. / Р. Смит. — М.: Мир, 1982. — 560 с.
9. Уиллардсона, Р. Оптические свойства полупроводников (полупроводниковые соединения типа  $A^{III}B^V$ ) [Текст]: пер. с англ. / под ред. Р. Уиллардсона, А. Бира. — М.: Мир, 1970. — 488 с.
10. Павлов, С. М. Основы мікроелектроніки [Текст]: навчальний посібник / С. М. Павлов. — Вінниця: ВНТУ, 2010. — 224 с.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Исследованы и проанализированы оптические свойства полупроводниковых материалов. В результате теоретического анализа были выявлены основные зависимости показателей преломления, поглощения и отражения от длины волны излучения. Установлена зависимость между интенсивностью падающего пучка и интенсивностью исходного (отраженного или такого, что прошел через полупроводник) пучка с учетом коэффициента поглощения (отражения) материала.

**Ключевые слова:** полупроводник, оптическое свойство, фотон, оптическая ширина запрещенной зоны, показатель преломления.

*Федотов Вячеслав Віталійович, старший викладач, кафедра загальної та теоретичної фізики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: dmb92@i.ua.*

*Федотов Вячеслав Витальевич, старший преподаватель, кафедра общей и теоретической физики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*

*Fedotov Vyacheslav, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: dmb92@i.ua*

УДК 629.735: 621.762

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.34776

Воденникова О. С.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ УГЛЕРОД-АЛЮМИНИЕВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Представлены результаты экспериментальных исследований теплоемкости образцов многокомпонентных углерод-алюминиевых композиционных материалов. Описан сравнительный метод динамического калориметра с тепломером и адиабатической оболочкой для определения показателей теплоемкости. Установлено влияние компонентного состава и содержания композитов на показатели теплоемкости.*

**Ключевые слова:** композиционные материалы, теплоемкость, компонентный состав, температура, эксперимент.

## 1. Введение

Современное развитие машиностроения, авиационной техники и других высокотехнологичных производств немисленно без применения новых конструктивных

триботехнических материалов. Среди многообразия этих материалов особое внимание уделяется созданию и исследованию углеродных композиционных материалов на основе алюминия. Композиционные материалы этой компонентной группы привлекают внимание конструк-

торов и исследователей благодаря низкому удельному весу, высокой стойкости при трении, в частности, в экстремальных силовых и температурных условиях эксплуатации, пониженным температурам в зоне триботехнического контакта, хорошей обрабатываемости, высокой противозадирности, низким значением коэффициента термического расширения и высоким демпфирующим свойствам. Особенно эффективно их применение в узлах трения, где другие антифрикционные материалы, требующие смазки, не работают из-за высоких или низких температур и агрессивности среды. Вместе с тем триботехнические исследования теплоемкости композитов своевременны и актуальны, они позволят более точно оценить количественные показатели изменения температуры в зависимости от условий нагревания или выделения теплоты в процессе работы трибосистемы, а также сделать оптимальный выбор температурных условий эксплуатации материалов [1–3].

## 2. Цель и задачи исследования

Цель работы — экспериментальным методом определить ранее неизвестные показатели теплоемкости новых углерод-алюминиевых композитов триботехнического назначения.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить такие задачи:

1. Методом порошковой металлургии получить образцы композиционных материалов с заданным компонентным составом и содержанием.

2. На экспериментальной установке выполнить теплофизические измерения и провести соответствующие расчеты показателей теплоемкости.

3. Проанализировать результаты теплофизических исследований теплоемкости углерод-алюминиевых композитов и установить влияние компонентного состава и содержания композитов на показатели теплоемкости.

## 3. Анализ литературных данных

Известно, что оптимальный выбор композиционного материала для заданных условий эксплуатации зависит от физико-механических и эксплуатационных свойств, на которые влияет как компонентный состав композита, так и технологический процесс получения самих материалов и деталей из них. Поэтому в ряде исследований [1, 4–7] большое место занимают специфические теплофизические исследования материалов. Однако предметом этих исследований, как правило, являлись одно-двух компонентные системы. Изучение и исследование более сложных многокомпонентных композитов не нашли широкого развития. В связи с этим в представленной работе поставлена основная задача — провести теплофизические исследования многокомпонентных углерод-алюминиевых композитов различного состава и содержания и установить влияние компонентного состава на показатели теплоемкости.

## 4. Результаты теплофизических исследования углерод-алюминиевых композитов

Теплофизические исследования композитов были направлены на определения их теплоемкости. Компонентный состав исследуемых композитов представлен в табл. 1.

нентный состав исследуемых композитов представлен в табл. 1.

Таблица 1

Компонентный состав углерод-алюминиевых композитов

| № партии образцов | Содержание компонентов, % объемн. |        |          |              |            |
|-------------------|-----------------------------------|--------|----------|--------------|------------|
|                   | Чешуйчатый графит                 | Графит | Глинозем | Al-й порошок | Al-я пудра |
| 1                 | 10                                | 70     | —        | 20           | —          |
| 4                 | 10                                | 20     | —        | 50           | 20         |
| 6                 | 15                                | 30     | —        | 40           | 15         |
| 12                | 15                                | 15     | 40       | 25           | 5          |

Образцы композиционных материалов (диаметр 15 мм, высота 10 мм) были получены методом горячего прессования на гидравлическом прессе ПППР с нагрузкой до 25,0 МПа в металлической пресс-форме при температуре 450 °С. В качестве исходных порошковых материалов для получения прессовок многокомпонентных композитов применяли чешуйчатый графит, глинозем, алюминиевый порошок, алюминиевую пудру и графит, гранулометрический состав которых представлен в табл. 2. Графит и алюминий составляли матричную основу композиционного материала.

Таблица 2

Гранулометрический состав и характеристики исходных порошков

| Вид порошка         | Гранулометрический состав, мкм |            |                 | Плотность г/см <sup>3</sup> | Никелирование   |             |                       |
|---------------------|--------------------------------|------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-------------|-----------------------|
|                     | $d_{\min}$                     | $d_{\max}$ | $d_{\text{ср}}$ |                             | Температура, °С | Время, час. | Толщина покрытия, мкм |
| Чешуйчатый графит   | 71                             | 494        | 178             | 2,1                         | 85              | 2           | 6,5                   |
| Глинозем            | 27                             | 81         | 55              | 2,7                         | 85              | 2           | 8,2                   |
| Графит              | 14                             | 365        | 97              | 1,7                         | 85              | 2           | 10,8                  |
| Алюминиевый порошок | 250                            | 950        | 600             | 2,7                         | —               | —           | —                     |
| Алюминиевая пудра   | 25                             | 51         | 33              | 2,7                         | —               | —           | —                     |

Определение теплоемкости образцов проводили сравнительным методом динамического калориметра с тепломером и адиабатической оболочкой на приборе НТ-с-400 (рис. 1) в соответствии с [8, 9]. В процессе непрерывного нагрева при разных температурах (через каждые 25 °С) с помощью вольтметра и секундомера измеряется временное запаздывание температуры по отношению к температуре медной основы. Блок питания и регулирования обеспечивают питание сердечника измерительной системы со скоростью ~0,1 К/с и автоматическое регулирование температуры охранного колпака.

Теплоемкость образца ( $C$ ) определяется по формуле:

$$C = \frac{K_T}{m_0} (\tau_T - \tau_T^0),$$

где  $K_T$  – тепловая проводимость тепломера, постоянная прибора, Вт/К;  $m_0$  – масса образца, г;  $\tau_T$  – время запаздывания температуры на тепломере, с;  $\tau_T^0$  – среднее значение времени запаздывания на тепломере в эксперименте с пустой ампулой, с.

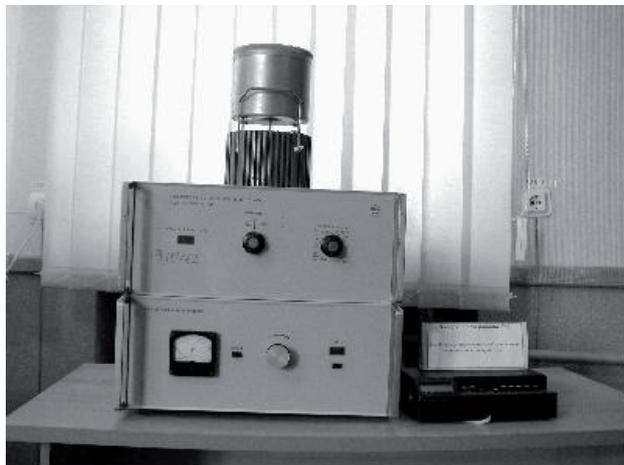


Рис. 1. Установка НТ-с-400 для определения теплоемкости образцов композитов

В результате исследований были получены значения теплопроводности тепломера –  $K_T$ , среднего значения времени запаздывания на тепломере в эксперименте с пустой ампулой –  $\tau_T^0$  и время запаздывания подъема температуры для опытных образцов композитов в диапазоне температур 298 ÷ 573 К (табл. 3).

Таблица 3

Экспериментальные данные для определения теплоемкости композитов

| T, К | $\tau_T^0$ , с | Время запаздывания температуры на тепломере $\tau_T$ , с |           |           |            | $K_T$ , Вт/К |
|------|----------------|--|-----------|-----------|------------|--------------|
|      |                | Образец 1  | Образец 4 | Образец 6 | Образец 12 |              |
| 298  | 12             | 17,8   | 18,5      | 18        | 15         | 0,445        |
| 323  | 19,5           | 26   | 25,8      | 26,2      | 23         | 0,446        |
| 348  | 20             | 28   | 28,4      | 27,2      | 23         | 0,448        |
| 378  | 19,5           | 26,8   | 28,2      | 27,6      | 23,2       | 0,431        |
| 398  | 19             | 26,6   | 27        | 27        | 23,6       | 0,400        |
| 423  | 19             | 25   | 27,2      | 27,2      | 23,8       | 0,436        |
| 448  | 18,5           | 24,5   | 26        | 26,6      | 23,6       | 0,43         |
| 473  | 18             | 24,2   | 26        | 26,2      | 22         | 0,462        |
| 498  | 17,2           | 23,5   | 25,6      | 25,4      | 21,4       | 0,503        |
| 523  | 16,2           | 23   | 25,8      | 23,4      | 20,8       | 0,466        |
| 548  | 15,8           | 20   | 22        | 22,8      | 19,2       | 0,488        |
| 573  | 15,4           | 19   | 21,2      | 22,2      | 18,8       | 0,491        |

Экспериментальные данные коэффициентов теплоемкости композитов различных составов показали (рис. 2), что наиболее низкими значениями теплоемкости во всем температурном диапазоне измерения обладает композит № 1, что обусловлено существенно меньшим содержанием алюминия по сравнению с другими исследованными материалами.

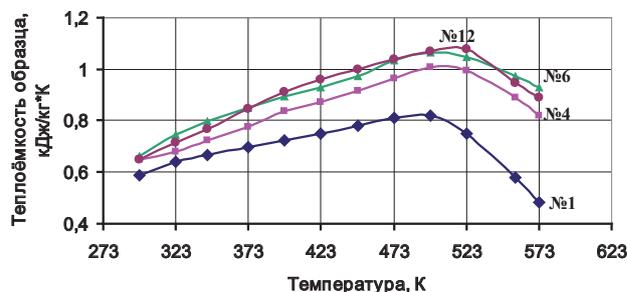


Рис. 2. Экспериментальная зависимость теплоемкости образцов композиционных материалов от температуры

Для образцов № 6 и 12 показатели теплоемкости наиболее высокие во всем диапазоне температур, что связано с наибольшим вкладом индивидуальных теплоемкостей алюминия и оксида алюминия в общую теплоемкость композитов. Экспериментальные значения теплоемкости композитов № 4, 6 и 12 незначительно отличаются от ранее приведенных расчетных значений [10]. Величины максимальных отклонений опытных и расчетных значений не превышают 20 %.

Анализ кривых зависимости теплоемкости образцов композиционных материалов от температуры показал, что все экспериментальные зависимости имеют экстремальный характер с перегибами кривых при температурах около 500 ÷ 523 К, что связано, по видимому, со структурными изменениями, происходящими в углерод-алюминиевых композитах в этом диапазоне температур.

### 5. Обсуждение результатов исследования теплоемкости углерод-алюминиевых композитов

Результаты исследований представляют научно-практический интерес для конструкторских подразделений машиностроительной, авиационной и ракетно-космической отрасли. Исследуемый материал может быть применен в узлах сухого трения, эксплуатируемых в экстремальных силовых и температурных условиях. Исследования теплоемкости углерод-алюминиевых композитов является продолжением ранее проведенных теплофизических (коэффициентов теплопроводности и линейного термического расширения) и триботехнических (коэффициента трения и интенсивности износа) исследований и по сути является заключительным этапом комплексного сравнительного анализа функциональных характеристик новых композиционных материалов триботехнического назначения с результатами расчетов по разработанным математическим моделям оценки этих характеристик.

### 6. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Методом горячего прессования получены пресовки 4 видов различных по составу и содержанию углерод-алюминиевых композитов триботехнического назначения.
2. Экспериментальным и расчетным путем установлены ранее неизвестные значения теплоемкостей углерод-алюминиевых композитов различного композиционного состава и содержания в температурном диапазоне 298 ÷ 573 К.

3. С помощью сравнительного анализа показано влияние компонентного состава на показатели теплоемкости и установлено, что наименьшей теплоемкостью обладают композиты с минимальным содержанием алюминия.

#### Литература

1. Скороход, В. В. Теория физических свойств пористых и композиционных материалов и принципы управления их микроструктурой в технологических процессах [Текст] / В. В. Скороход // Порошковая металлургия. — 1995. — № 1/2. — С. 53–71.
2. Akhlaghi, F. Influence of graphite content on the dry sliding and oil impregnated sliding wear behavior of Al 2024-graphite composites produced by in situ powder metallurgy method [Text] / F. Akhlaghi, A. Zare-Bidaki // Wear. — 2009. — Vol. 266, № 1–2. — P. 37–45. doi:10.1016/j.wear.2008.05.013
3. Скачков, В. А. Особенности получения триботехнических углерод-алюминиевых композитов методами порошковой металлургии [Текст] / В. А. Скачков, С. А. Воденников, С. С. Сергиенко, В. И. Иванов, О. С. Воденникова // Проблемы трибологии. — 2010. — № 4. — С. 91–94.
4. Кошляк, А. В. Формирование теплофизических характеристик пористого материала [Текст] / А. В. Кошляк // Математичне моделювання. — 2008. — № 2(19). — С. 81–84.
5. Riahi, A. The role of tribo-layers on the sliding wear behavior of graphitic aluminum matrix composites [Text] / A. Riahi, A. Alpas // Wear. — 2001. — Vol. 251, № 1–12. — P. 1396–1407. doi:10.1016/S0043-1648(01)00796-7
6. Скороход, В. В. Слоистые композиты: структурная классификация, теплофизические и механические свойства [Текст] / В. В. Скороход // Порошковая металлургия. — 2003. — № 9/10. — С. 1–12.
7. Войтов, В. А. Экспериментальная оценка триботехнических характеристик различных конструкций трибосистем с тепловыми сопротивлениями. Часть I. Методический подход в исследованиях [Текст] / В. А. Войтов, Д. А. Великодний // Проблемы трибологии. — 2009. — № 2. — С. 25–31.
8. Скачков, В. А. К определению теплоемкости многокомпонентных углерод-алюминиевых композитов [Текст] / В. А. Скачков, С. А. Воденников, О. С. Воденникова и др. // Kluczowe aspekty naukowej dzialalnosci-2012: Materiały VIII miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, 7–15 stycznia 2012 roku: Przemysl. Nauka I studia. — P. 55–57.
9. Платунов, Е. С. Теплофизические измерения в монотонном режиме [Текст] / Е. С. Платунов. — Ленинград: Энергия, 1973. — 142 с.
10. Воденников, С. А. Теплофизические характеристики металлургических композиционных материалов [Текст] / С. А. Воденников, В. А. Скачков, О. С. Воденникова и др. // Нови матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. — 2012. — № 1. — С. 27–30.

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОЕМНОСТІ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ВУГЛЕЦЬ-АЛЮМІНІЄВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Представлено результати експериментальних досліджень теплоемності зразків багатокомпонентних вуглець-алюмінієвих композиційних матеріалів. Описано порівняльний метод динамічного калориметра з тепломіром і адіабатичною оболонкою для визначення показників теплоемності. Встановлено вплив компонентного складу і змісту композитів на показники теплоемності.

**Ключові слова:** композиційні матеріали, теплоємність, компонентний склад, температура, експеримент.

*Воденникова Оксана Сергеевна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра металургії чорних металів, Запорізька державна інженерна академія, Україна, e-mail: oks2805@mail.ru.*

*Воденникова Оксана Сергіївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра металургії чорних металів, Запорізька державна інженерна академія, Україна.*

*Vodennikova Oksana, Zaporozhye State Engineering Academy, Ukraine, e-mail: oks2805@mail.ru*