

ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЧИСТЫХ МЕТАЛЛОВ ВКЛЮЧАЯ ОБЛАСТЬ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ТВЕРДОЕ ТЕЛО - ЖИДКОСТЬ

Д.В. Косенков, Н.Ю. Косенкова, В.В. Сагадеев, В.А. Аляев

АННОТАЦИЯ

Представлены описание экспериментальной установки и полученные результаты температурной зависимости нормальной интегральной излучательной ε_n способности никеля, алюминия и хрома. Степень достоверности экспериментальных данных составляла 5 – 8 %.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ, ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, ТЕХНИЧЕСКИЕ
КОНСТРУКЦИОННЫЕ МЕТАЛЛЫ

THE EMISSIVITY OF PALLADIUM AND PLATINUM IN THE REGION OF THE PHASE TRANSITION TEMPERATURE OF THE FIRST KIND

D.V. Kosenkov, N.Y. Kosenkova, V.V. Sagadeev, V.A. Alyaev

ABSTRACT

A description of the experimental setup and the obtained results of the temperature dependence of the normal integral emissivity of nickel, aluminum, and chromium are presented. The degree of reliability of the experimental data was 5–8%.

KEYWORDS

EXPERIMENTAL RESEARCH, THERMAL RADIATION, TECHNICAL STRUCTURAL METALS

ВВЕДЕНИЕ

Изучение природы и свойств металлов составляет важную главу современной теплофизики. Электронная теория металлов в настоящее время пока еще не в состоянии дать удовлетворительного количественного описания теплового излучения [1 - 3].

Отсутствие более или менее определенных теоретических подходов к основным закономерностям поведения излучательной способности металлов, делает совершенно необходимым осуществление широкой программы экспериментальных исследований. В связи с этим большое значение должно быть уделено экспериментальному изучению излучательной способности металлов в вакууме или в среде инертных газов.

Основными задачами экспериментального изучения излучательной способности твердых и жидких металлов при этом являются: выяснение закономерностей изменения излучательной способности металлов при плавлении; изучение характера температурной зависимости излучательной способности жидких металлов в широком диапазоне температур; сопоставление излучательной способности металлов с теплопроводностью и электропроводностью.

В настоящей работе представлены результаты по изучению нормальной интегральной излучательной способности технических никеля, алюминия и хрома широко

применяемых в вакуум- технологических процессах металлизации различных поверхностей с целью улучшения характеристик [4].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Установка состоит из экспериментальной ячейки, комплекса цифровой фиксации тепловых потоков, вакуумной установки, системы подготовки и подачи инертных газов, электротрансформаторов и стабилизаторов напряжения (см. рис. 1). Экспериментальная ячейка представляет собой вакуумируемый объем с резистивным нагревателем - танталовой лентой. Лента позволяла нагревать исследуемый металл до температуры жидкого состояния. Регистрация тепловых потоков с поверхности зеркала расплавленного металла осуществлялась радиометром прямого видения с приемником излучения в виде термоэлемента промышленного пирометра. Температура металла и модели абсолютно черного тела контролировалась комплектом образцовых вольфрам-рениевых термопарой.

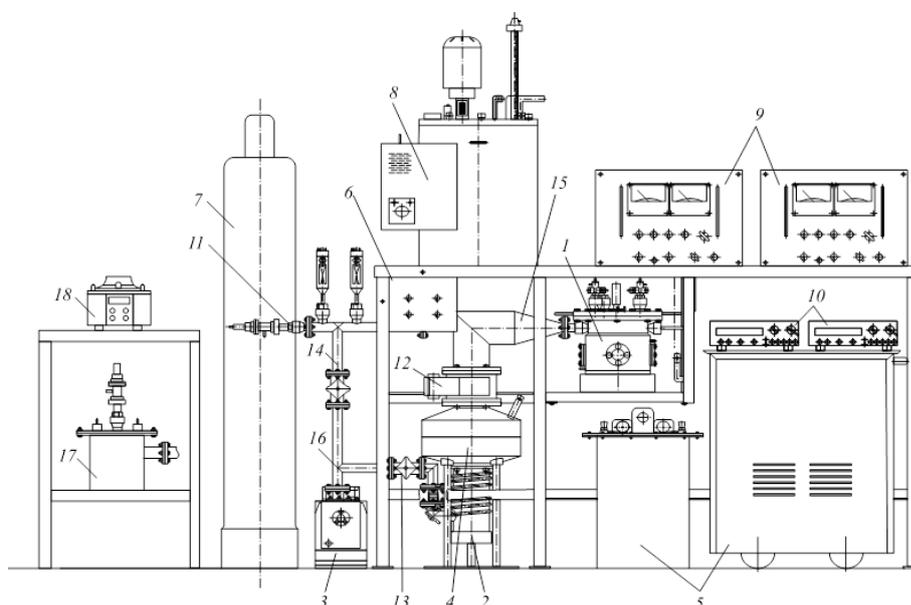


Рис. 1. Экспериментальная установка:

1 - измерительная ячейка с водяной рубашкой; 2 — насос диффузионный, 3 — насос механический, 4 — ловушка, 5 — трансформаторы, 6 — пульты управления, 7 — баллон с инертным газом, 8 — термостат, 9 — вакуумметры, 10 — вольтметры, 11 — натекатели, 12 — затвор, 13 — клапаны, 14 — патрубок, 15 — колено, 16 — трубопроводы, 17 — промежуточный объем подготовки газа, 18 — лабораторный автотрансформатор.

В экспериментах применялся инертный газ – аргон, который подавался в измерительную ячейку через фильтры. Далее газ попадал в промежуточный объем, где он предварительно отжигался. Давление газа в ячейке при градуировке и основных измерениях поддерживалось одинаковым и постоянным. При повышении давления в связи с увеличением температуры исследуемого металла избыток газа дросселировался в атмосферу.

Градуировка радиометра осуществлялась по созданной трубчатой модели абсолютно черного тела с степенью черноты не ниже 0,99. Работоспособность и достоверность установки подтверждалась сравнением полученных экспериментальных результатов с надежными литературными данными.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим и обсудим результаты экспериментальной работы.

В исследованиях применялся технический никель марки Н-2 с содержанием основного элемента не менее 99,7 %.

Имеющиеся данные по нормальной интегральной излучательной способности никеля немногочисленны. В твердой полированной фазе, по мнению авторов статьи, более надежные данные по нормальным интегральным тепловым потокам представлены в [5], они лучше других согласуются с результатами авторов статьи в твердой фазе (см. рис. 2).

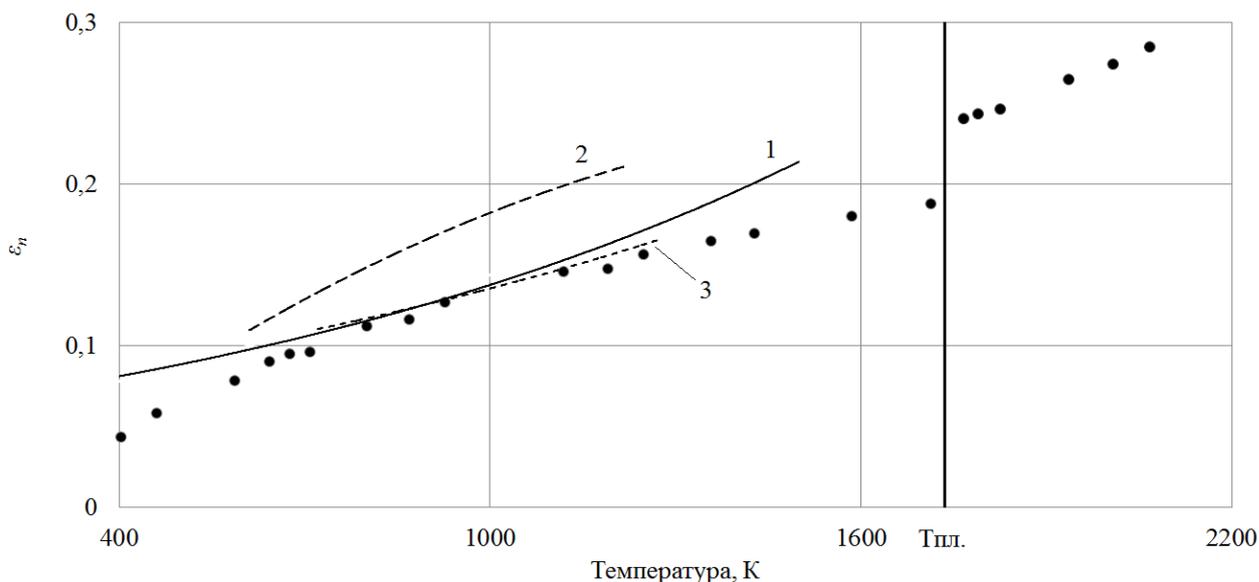


Рис. 2. Зависимость ε_n никеля от температуры: линия 1 – [1]; линия 2 – [6]; линия 3 – [5]; ● – результаты измерения авторов

Рекомендованные значения по [6] несколько завышены, что может быть объяснено или химическим составом исследуемого образца металла или методикой применяемого исследования. Скачок излучательной способности, зафиксированный авторами, при плавлении никеля составил порядка 25 %. В жидкой фазе наблюдается уверенный рост излучательной способности с увеличением температуры.

В исследованиях по алюминию применялся образец технической марки А8 с содержанием основного элемента не менее 99,8 %. Получено характерное для металлов монотонное увеличение излучательной способности с броском интенсивности излучения при температуре плавления элемента (см. рис. 3).

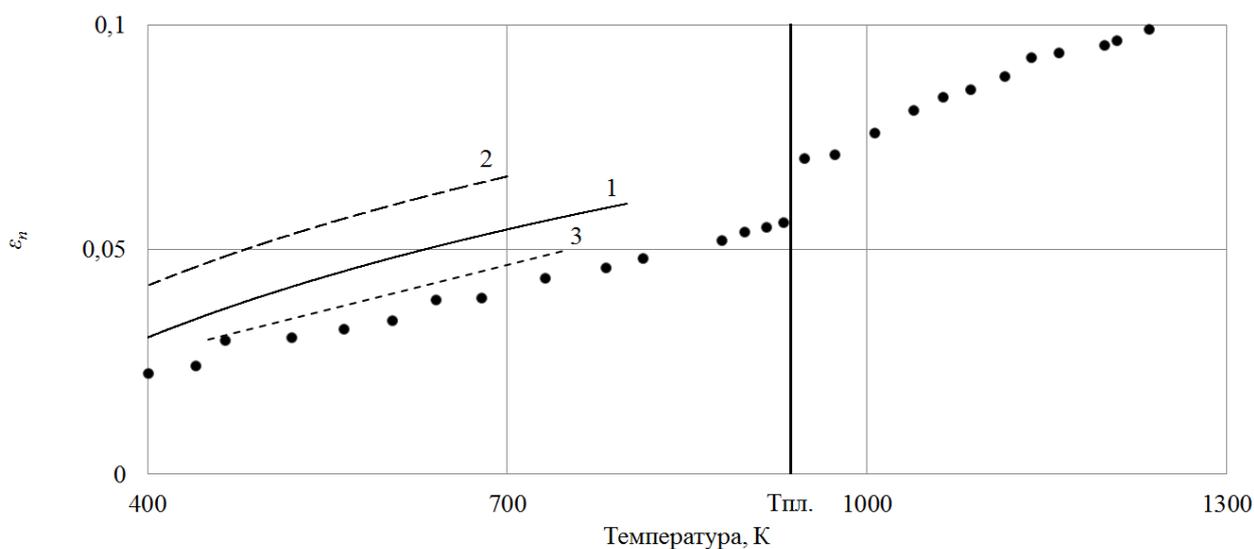


Рис. 3. Зависимость ε_n алюминия от температуры: линия 1 – [1]; линия 2 – [6]; линия 3 – [7]; ● – результаты измерения авторов

Полученная температурная зависимость излучательной способности твердой полированной фазы алюминия хорошо согласуется с литературными данными [1, 6, 7] и позволяет иллюстрировать тепловое поведение металла в исследуемом диапазоне, включая фазовый переход твердое тело-жидкость. Предельная температура жидкой фазы была ограничена давлением упругости пара металла. Зафиксированный характерный скачек излучательной способности в области фазового перехода твердое тело – жидкость, по оценке авторов, составил около 21 %.

В жидкой фазе рост излучательной способности алюминия показал монотонное увеличение вплоть до температуры до 1235 К.

При исследовании образца хрома марки Х99Н1 с содержанием основного элемента не менее 99 % была получена излучательная способность металла, включая переход твердое тело - жидкость и жидкую фазу металла вплоть до максимальных экспериментальных температур (см. рис. 4.).

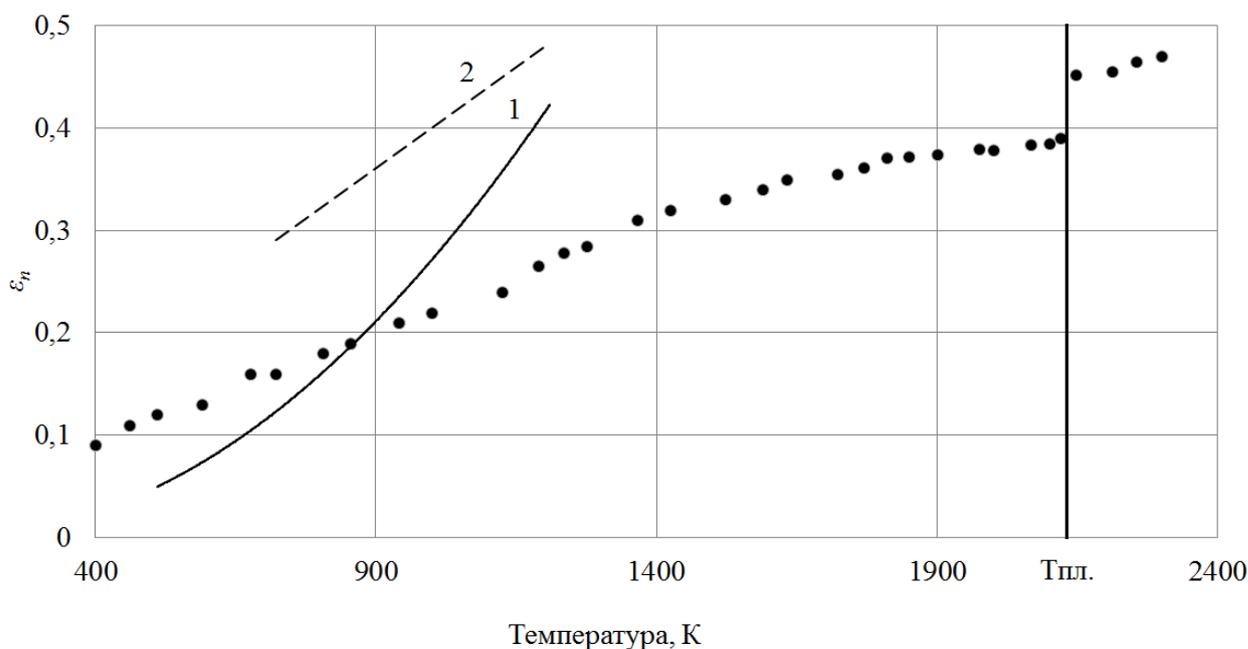


Рис. 4. Зависимость ϵ_n хрома от температуры: линия 1 – [1]; линия 2 – [6];
 ● – результаты измерения авторов

Данные, полученные авторами, отличаются в твердой полированной фазе от рекомендованных значений [1, 6], что возможно связано с состоянием зеркальной поверхности, которое существенно оказывает влияние на излучательную способность [8] или в наличии разницы процентного содержания основного элемента в образце. Измерения показали, что излучательная способность хрома возрастает по слабой кривой со скачкообразным изменением излучательной способности порядка 17 % при разрушении кристаллической решетки металла и продолжает свой рост с увеличением температуры эксперимента. В жидкой фазе излучательная способность хрома ведет себя аналогично поведению переходных металлов, таким как железо, кобальт и никель.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведенном исследовании авторы отмечают положительное увеличение излучательной способности исследованных металлов от температурного интервала. Такое поведение излучательной способности характерно для переходных металлов периодической системы. Разрушение кристаллической решетки при плавлении элементов ведет к увеличению металлических свойств элементов и полностью соответствует их расположению в системе Д.И. Менделеева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Излучательные свойства твердых материалов: Справочник / Под общ. ред. чл.-кор. АН СССР А.Е. Шейндлина / М: Изд-во «Энергия», 1974. 471 с.
2. Свет, Д.Я. Оптические методы измерения истинных температур / Д.Я. Свет / М.: Изд-во «Наука», 1982. 296 с.
3. Fisenko, A.I. Thermal radiative and thermodynamic properties of solid and liquid uranium and plutonium carbides in the visible–near-infrared range / A.I. Fisenko, V.F. Lemberg // Journal of Materials Science. 2016. Vol. 51. No. 18. pp. 8737 – 8746.
4. Справочник по вакуумной технике и технологиям. Под ред. Д.Хоффман, Б. Сингха, Дж.Томаса III. Москва: Техносфера, 2011. -736 с.

5. Howell, John R. Thermal radiation heat transfer / Robert Siegel, John R. Howell /. - Washington etc.: Hemisphere publ. corp., 1992. 1072 p.
6. Touloukian, Y.S. Thermophysical properties of matter-the tprc data series. Vol. 7. Thermal radiative properties - metallic elements and alloys / Y.S. Touloukian, D.P. DeWitt /. New York: Springer Science, 1970. 1594 p.
7. Masuda, Hidetoshi, Seiji Sasaki, Mitsuo Higano and Hiroshi Sasaki. "A method for the simultaneous measurement of total hemispherical emissivity and specific heat of metals by the transient calorimetric technique." *Experimental Thermal and Fluid Science* 4 (1991): 218-225.
8. С.Г. Агабабов, "Влияние фактора шероховатости на радиационные свойства твердого тела со случайной шероховатостью. Эксперимент", *ТВТ*, **13**:2 (1975), 314–317

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Косенков Дмитрий Валерьевич – старший преподаватель (ORCID: 0009-0005-2900-1343). Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Республика Татарстан e-mail: dmi-kosenkov@yandex.ru

Косенкова Наталья Юрьевна – магистр. Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Республика Татарстан

Сагадеев Владимир Владимирович – кандидат технических наук, доцент. Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Республика Татарстан e-mail: v.sagadeev@mail.ru

Аляев Валерий Алексеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вакуумная техника электрофизических установок». Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Республика Татарстан