

УДК 535.233.4

О корреляции излучательной способности с характеристиками простых веществ

Д.В. Косенков, В.В. Сагадеев

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань

E-mail: Dmi-kosenkov@yandex.ru

Представлены результаты коррелирования излучательной способности чистых металлов жидкой фазы состояния с порядковым номером элемента в Периодической системе и характеристиками, к которым относятся коэффициенты термического расширения и поверхностного натяжения. Полученные результаты укладываются в систему Периодического закона. Излучательная способность имеет периодичность с прослеживанием трансляционных свойств.

Ключевые слова: элементы IV периода, излучательная способность, порядковый номер, корреляция, коэффициент термического расширения, коэффициент поверхностного натяжения.

Введение

Процесс получения и накопления энергии твердыми телами при их нагревании характеризуется изменением излучательной способности, которая как структурно-чувствительное свойство отражает изменения во всех видах энергии системы. Учитывая, что нагрев тела сопровождается изменением интенсивности теплового движения атомов, можно полагать, что аккумулированная энергия в кристаллической решетке должна быть определяющей силой действия сцепления между атомами. Силы сцепления, удерживающие атомы в положениях равновесия кристаллической решетки, индивидуальны и свойственны каждому конкретному веществу. Строгое определение сил сцепления и прочности межатомных связей дать трудно, поэтому для изучения их поведения можно воспользоваться физическими характеристиками теплового излучения, которые в той или иной мере с ними связаны.

В свете изложенного выше можно полагать, что в процессе индивидуального накопления энергии металлическим кристаллом при переходе от металла к металлу по периоду тепловое излучение имеет закономерную периодичность [1]. Следовательно, можно ожидать наличие корреляции между характеристиками излучательной способности металлов $\epsilon_{\text{лн}}$ и прочностью межатомной связи [2].

Рассуждения

В настоящей работе осуществляется попытка анализа прочности металлической связи элементов IV периода системы в сопоставлении с излучательной способностью этих же металлов на основе Периодического закона.

Значение и силу межатомного взаимодействия в элементах можно оценить по характеристикам таких параметров, как порядковый номер элемента в системе (Z), коэффициент термического расширения (α), коэффициент поверхностного натяжения (γ).

С возрастанием Z происходит периодическое повторение строения внешних электронных оболочек, определяющих периодическое изменение структуры и физико-химических свойств элементов [3–5].

Считается, что α является мерой прочности межатомных связей в том смысле, что понижение α означает более высокое сопротивление росту амплитуды тепловых колебаний, сопровождающей повышение температуры.

Известно, что γ является термодинамической характеристикой жидкого металла. Это свойство металла с атомарно-чистой поверхностью аналогично $\epsilon_{\text{тн}}$ и характеризует индивидуальные свойства.

Рассматриваемая металлическая связь элементов периода, согласно [6], представляет собой силу притяжения между положительно заряженными ионами и окружающим их газом в виде свободных электронов. Свободные электроны не связаны с каким-либо определенным атомом, и их подвижность в решетке определяют теплофизические свойства, включая излучательную способность. Понятие «металлическая связь» развивалось первоначально для объяснения характерных физических свойств металлов, а объяснению значительной величины сил сцепления между атомами в металлах не придавалось большого значения.

В настоящей статье рассматривается и обсуждается корреляция $\epsilon_{\text{тн}}$ металлов IV периода с вышеперечисленными параметрами.

На рис. 1 приведена зависимость $\epsilon_{\text{тн}}$ жидких металлов от Z периодической таблицы. Представленные экспериментальные значения $\epsilon_{\text{тн}}$, полученные авторами в [7–9], располагаются по периоду и имеют выраженные пики максимального значения (см., например, у титана и железа) и численные минимумы (см. у калия, марганца и галлия). Это поведение $\epsilon_{\text{тн}}$ металлов повторяет известную периодичность и репликацию свойств

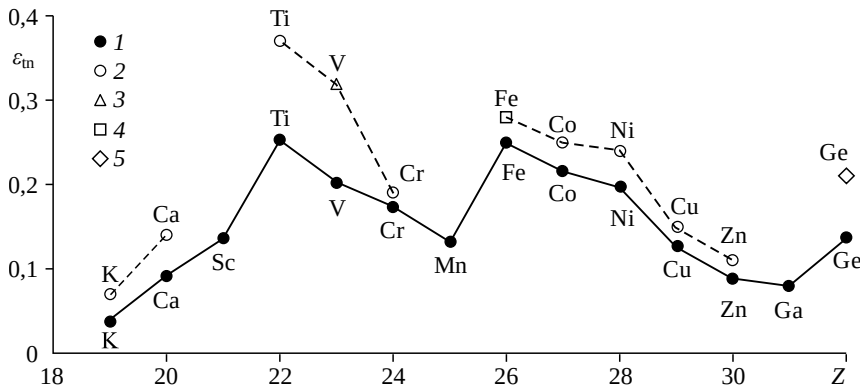


Рис. 1. Зависимость $\epsilon_{\text{тн}}$ элементов от Z .

1 — результаты расчета по приближению Фута [13],
данные работ [7–9] (2), [10] (3), [11] (4), [12] (5).

излучательной способности. Также на рис. 1 представлено сопоставление $\varepsilon_{\text{тн}}$ жидких металлов по вычислительному эксперименту приближения Фута [13]. Данное приближение позволяет теоретически рассчитать излучение конденсированной фазы вещества и имеет вид:

$$\varepsilon_{\text{тн}} = 5,78\sqrt{rT} - 17,9rT + 44(rT)^{3/2}, \quad (1)$$

где r — удельное электрическое сопротивление, T — температура образца металла.

Следует отметить, что значения вычислительного эксперимента зависят от достоверности экспериментально полученных данных по r . В рамках настоящей статьи использованы рекомендованные значения r металлов жидкой фазы по [14–16].

На рис. 1 наглядно видно, что численные значения экспериментальных и рассчитанных $\varepsilon_{\text{тн}}$ разнятся в диапазоне $\pm 7\%$ и также сохраняют картину трансляции периодичности свойств.

На рис. 2 рассмотрена зависимость $\varepsilon_{\text{тн}}$ от α . Данное отношение показывает, что на восходящей ветви кривой располагаются металлы, характеризующиеся высокой прочностью межатомной связи с накоплением больших энергий предплавления, что соответствует малым значениям α и высокой $\varepsilon_{\text{тн}}$ жидкого состояния металла. На нисходящей ветви кривой расположены металлы с высоким α и низкой $\varepsilon_{\text{тн}}$. Выявление этой закономерности указывает на существенную роль характера межатомной связи и наличие величин сил сцепления в процессе аккумуляирования энергии кристаллической решетки при нагреве как до температур предплавления, так и до конечной температуры плавления. Такая картина последовательности расположения элементов на полученной зависимости полностью соответствует положению веществ по периоду. Для выяснения и понимания закономерности авторы статьи использовали имеющиеся в литературе [4] данные по α . Выявленная зависимость аппроксимирована выражением вида:

$$\varepsilon_{\text{тн}} = 0,9\sqrt[5]{(\alpha \cdot 10^6)^3}. \quad (2)$$

Полученное выражение позволяет проводить пересчет $\varepsilon_{\text{тн}}$ в α и обратно. Так как все участвующие в расчетах величины имеют экспериментальное происхождение, это накладывает определенную вероятность на существующую достоверность.

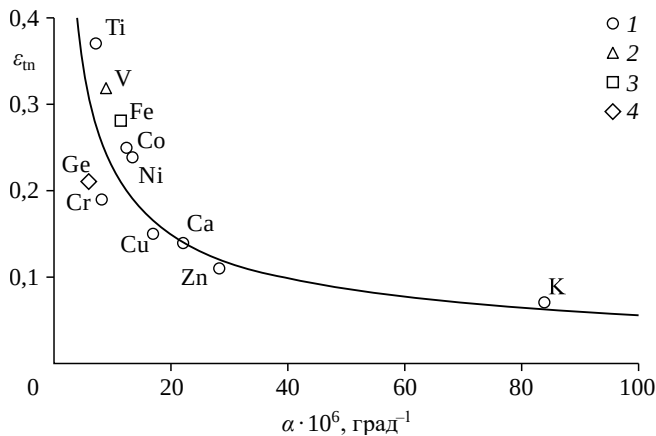
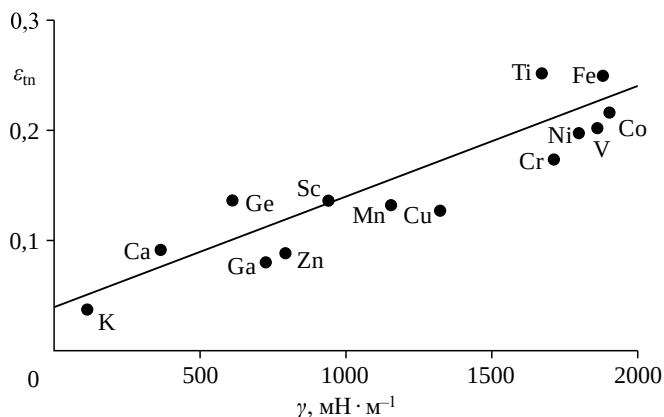


Рис. 2. Зависимость $\varepsilon_{\text{тн}}$ элементов от α .
Данные работ [7–9] (1), [10] (2), [11] (3), [12] (4).

Рис. 3. Зависимость ϵ_{in} элементов от γ .

Символы — расчет по приближению Фуга.

Периодичность электронных конфигураций к излучающей способности вещества является основным фактором оценки величины сил сцепления атомов в кристаллах при тепловом энергонакоплении.

На рис. 3 представлена зависимость ϵ_{in} от γ . Поверхностное натяжение является термодинамической характеристикой жидкого металла. Это свойство атомарно-чистой поверхности аналогично излучательной способности. Известно, что поверхностное натяжение, определяющее притяжение молекул поверхностного уровня жидкого металла, составляет устойчивое плотно выровненное расположение поверхностных атомов. Это позволяет сопоставлять излучательную способность и поверхностное натяжение. Полученная авторами линейная корреляция подтверждает периодичность рассматриваемых физических свойств металлов по периоду и имеет вид:

$$\epsilon_{in} = \gamma \cdot 10^{-4} + 0,04. \quad (3)$$

С помощью этого выражения можно, зная одно свойство, находить другое при отсутствии по нему экспериментальных данных.

Выводы

1. Однозначно установлено наличие корреляционных зависимостей между характеристикой излучательной способности простых веществ IV периода и физических свойств металлов при температуре плавления.
2. Полученные зависимости имеют различные характеры, но подчиняются Периодическому закону расположения элементов по периоду.
3. Полученная количественная корреляция свойств служит еще одним подтверждением природы физико-химических сил строения кристаллической решетки.

Список литературы

1. Панфилович К.Б. Тепловое излучение и поверхностное натяжение жидких металлов и сплавов. Казань: Казан. гос. технол. ун-т, 2009. 256 с.
2. Цуркин В.Н., Дмитришина Я.Ю. Корреляционные характеристики структуро-чувствительных свойств жидких металлов // Литье и металлургия. 2016. Т. 1, № 82. С. 40–45.
3. Григорович В.К. Металлическая связь и структура металлов. М.: Наука, 1988. 294 с.
4. Регель А.Р., Глазов В.М. Периодический закон и физические свойства расплавов. М.: Наука, 1978. 309 с.
5. Ершов Г.С. Строение и свойства жидких и твердых металлов. М.: Металлургия, 1978. 248 с.

6. **Физическое** металловедение / Под ред. Кана Р.У., Хаазена П. В 3-х т. Т. 1. Атомное строение металлов и сплавов. М: УПИ, 1987. 640 с.
7. **Косенков Д.В., Сагадеев В.В., Аляев В.А.** Степень черноты ряда металлов VIII группы периодической системы // Теплофизика и аэромеханика. 2021. Т. 28, № 6. С. 951–956.
8. **Косенков Д.В., Сагадеев В.В., Аляев В.А.** Исследование теплового излучения элементов подгруппы титана с учетом фазовых переходов // Журн. технич. физики. 2021. Т. 91, № 7. С. 1090–1092.
9. **Косенков Д.В., Сагадеев В.В.** Результаты измерения относительной излучательной способности ряда металлов подгруппы меди при температурах перехода через точку плавления // Журн. технич. физики. 2021. Т. 91, № 12. С. 1909–1911.
10. **Ishikawa T., Koyama C., Nakata Y., Watanabe Y., Paradis P.F.** Spectral emissivity, hemispherical total emissivity, and constant pressure heat capacity of liquid vanadium measured by an electrostatic levitator // J. Chem. Thermodynamics. 2021. No. 163. P. 106598–106604.
11. **Физические** свойства металлов и сплавов: труды вузов Российской Федерации. Вып. 1 / Под общ. ред. П.В. Гельд. Свердловск: УПИ, 1976. 128 с.
12. **Takasuka E., Tokizaki E., Terashima K., Kimura Sh.** Emissivity of liquid germanium in visible and near infrared region // J. Appl. Phys. 1997. No. 82. P. 2590–2594.
13. **Излучательные** свойства твердых материалов: Справочник / Под общ. ред. А.Е. Шейндлина. М.: Энергия, 1974. 471 с.
14. **Белашенко Д.К.** Явления переноса в жидких металлах и полупроводниках. М.: Атомиздат, 1970. 400 с.
15. **Hüpf T., Cagran C., Pottlacher G.** High temperature thermophysical properties of 22 pure metals // High Temperatures — High Pressures. 2022. Vol. 51, No. 1. P. 1–152.
16. **Takamichi I., Roderick I.L.G.** The thermophysical properties of metallic liquids. Vol. 2. Predictive models. Oxford: Oxford University Press, 2015. 586 p.

*Статья поступила в редакцию 31 мая 2024 г.,
после доработки — 18 сентября 2024 г.,
принята к публикации 8 ноября 2024 г.*