

УДК 546.719:621.793.1

М. С. Ізюмський, О. С. Баскевич, С. Г. Мельник, О. В. Штеменко
ДВУЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»,
кафедра неорганічної хімії, пр. Гагаріна 8, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна,
email: maksimizumsky@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ СТАНДАРТНОЇ ЕНТАЛЬПІЇ УТВОРЕННЯ ТРАНС-ТЕТРАХЛОРО-ДИ- μ -КАРБОКСИЛАТІВ ДИРЕНІЮ(III)

Вивчено реакції згорання *транс*-тетрахлоро-ди- μ -карбоксилатів диренію(III) (*транс*- $\text{Re}_2\text{Cl}_4(\text{RCOO})_2$), де R – C_2H_5 ; C_3H_7 ; $(\text{CH}_3)_2\text{CH}$; $(\text{CH}_3)_3\text{C}$ в кисні повітря. Продукти згорання визначено методами аналітичної хімії. За експериментальними кривими ДТА на основі другого закону термохімії (закон Гесса), розраховано експериментальні значення стандартних теплот утворення *транс*- $[\text{Re}_2\text{Cl}_4(\text{RCOO})_2]$, де R – C_2H_5 ; C_3H_7 ; $(\text{CH}_3)_2\text{CH}$; $(\text{CH}_3)_3\text{C}$, які складають 36966; 63531, 35541, 66350 кДж/моль відповідно. Теоретичним методом Полінга, через електронегативності атомів елементів, розраховано стандартну ентальпію утворення досліджуваних комплексів. Розрахована термодинамічна можливість одержання металічного ренію, шляхом термічного розкладу *транс*-карбоксилатів, що може бути використано для хімічної газофазної металізації (CVD).

Ключові слова: хлоркарбоксилат, реній, ентальпія, термодинаміка, енергія Гіббса, термодеструкція.

Кластерні карбоксилатні комплекси ренію(III) з четверним зв'язком метал-метал відомі науці більш ніж 60 років [1, 2]. На даний час термодинамічні властивості для цього класу сполук в літературі відсутні. Термодинамічні дослідження термічної деструкції кластерних карбоксилатів диренію(III) дуже важливі для встановлення детального механізму реакцій. Це дає потенціал для одержання дуже чистого металу, ренієвих покриттів і нових композиційних матеріалів хімічним газофазним методом (CVD) [3]. Дана робота присвячена отриманню числових значень теплот реакцій термодеструкції і одержанню стандартних ентальпій утворення комплексів. Отримані дані дозволили підтвердити термодинамічну ймовірність одержання металічного ренію шляхом газофазної термічної деструкції карбоксилатів диренію(III).

В цій роботі розраховано термодинамічні параметри реакцій згорання і термічної деструкції хлоркарбоксилатів диренію(III) *транс*-конфігурації. Теплота, поглинута в процесі реакції (Q_p), розрахована за експериментальними кривими диференційно-термічного аналізу (ДТА). Стандартна ентальпія утворення ($\Delta H_{f,298}^0$) розрахована за другим законом термохімії та теоретично [4-6].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Одержано експериментальні криві ДТА згорання на повітрі *транс*-тетрахлоро-ди- μ -карбоксилатів диренію(III) загальної формули *транс*- $[\text{Re}_2\text{Cl}_4(\text{RCOO})_2]$, де R – C_2H_5 ; C_3H_7 ; $(\text{CH}_3)_2\text{CH}$; $(\text{CH}_3)_3\text{C}$, які представлено на рис. 1.

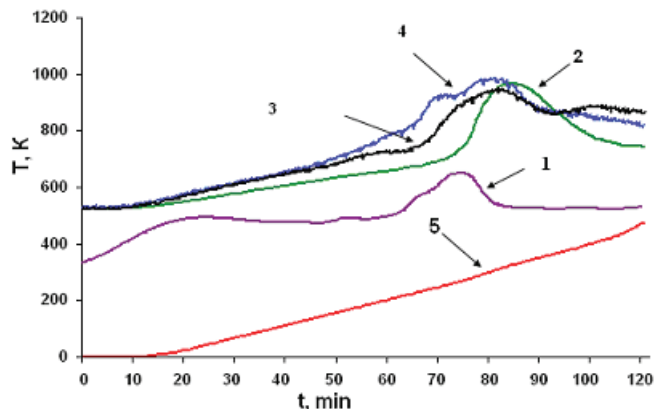


Рис. 1. Експериментальні криві ДТА згорання на повітрі *транс*-тетрахлоро-ди- μ -карбоксилатів диренію(III). Відкритий тип тиглю. Швидкість нагрівання $10^{\circ}\text{C}/\text{хв}$. Pt-PtRh-термопара. Маса наважки 200 мг. 1 – *транс*- $[\text{Re}_2\text{Cl}_4(\text{C}_2\text{H}_5\text{COO})_2]$; 2 – *транс*- $[\text{Re}_2\text{Cl}_4((\text{CH}_3)_3\text{CCOO})_2]$; 3 – *транс*- $[\text{Re}_2\text{Cl}_4(\text{C}_3\text{H}_7\text{COO})_2]$; 4 – *транс*- $[\text{Re}_2\text{Cl}_4((\text{CH}_3)_2\text{CHCOO})_2]$; 5 – температура, К.

Розраховано площі екзотермічних піків на кривих ДТА, які відповідають теплотам при згоранні комплексів (табл. 1) [7].

Таблиця 1
Експериментальні теплоти згорання карбоксилатів диренію(III)

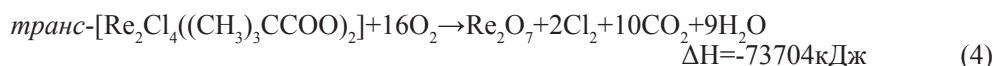
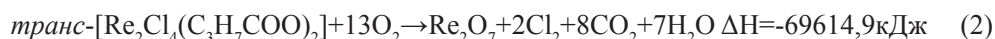
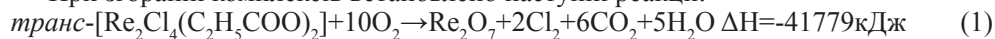
Комплекс	Теплота згорання ($\Delta H_{f,298,\text{згор}}^0$), кДж/моль
<i>транс</i> - $[\text{Re}_2\text{Cl}_4(\text{C}_2\text{H}_5\text{COO})_2]$	41779
<i>транс</i> - $[\text{Re}_2\text{Cl}_4(\text{C}_3\text{H}_7\text{COO})_2]$	69614
<i>транс</i> - $[\text{Re}_2\text{Cl}_4((\text{CH}_3)_2\text{CHCOO})_2]$	41624
<i>транс</i> - $[\text{Re}_2\text{Cl}_4((\text{CH}_3)_3\text{CCOO})_2]$	73704

Зміну вільної енергії Гіббса для реакцій розраховуємо за формулою [6]:

$$\Delta G_T^{\circ} = \Delta H_T^{\circ} - T\Delta S_T^{\circ}, \text{ де } \Delta H_T^{\circ} - \text{зміна теплоти реакції при температурі } T \text{ [6]:}$$

$$\Delta H_{298}^{\circ} = (\sum \nu \Delta H_{f,298}^{\circ})_{\text{кін}} - (\sum \nu \Delta H_{f,298}^{\circ})_{\text{поч}}, \text{ де } \Delta H_{f,298}^{\circ} - \text{теплота утворення хімічної сполуки за стандартних умов, } \nu - \text{стехіометричні коефіцієнти у рівнянні реакцій.}$$

При згоранні комплексів встановлено наступні реакції:



На основі другого закону термодинаміки і використовуючи дані про термодинамічні властивості продуктів реакції [8], розраховано теплоти утворення вихідних транс-карбоксилатів, які наведено в табл. 2.

Розраховано теоретичні теплоти утворення хлоркарбоксилатів методом Полінга. Використовуючи шкалу електронегативності елементів, яка складена на основі експериментально встановлених значень теплот утворення, можна розрахувати приблизну ентальпію утворення сполуки [9]:

$$\Delta H_{f,298}^0(\text{ккал/моль})=23\sum(x_A-x_B)^2-55n_N-24n_O$$

де $23\sum(x_A-x_B)^2$ – кількісне співвідношення між енергією зв'язку і різницею електронегативностей двох атомів А та В. Ця енергія пропорційна квадрату різниці електронегативностей двох атомів і пропорційна значенню 23 ккал/моль. Символ \sum показує, що додавання повинно бути проведене по всім зв'язкам, які є в сполуці. n_N – кількість атомів азоту; n_O – кількість атомів кисню. З літератури візьмемо відомі значення енергій зв'язку для Re-Re 115 ккал/моль [10] та C-C 62,8 і 85 ккал/моль [11]. Дані розрахунків наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Стандартні експериментальні та теоретичні значення теплот утворення кластерних хлоркарбоксилатів диренію(III) транс-конфігурації, які одержані за кривими ДТА та електронегативності

Комплекс	Експериментальна теплота утворення ($\Delta H_{f,298,гтв}^0$), кДж/моль	Теоретична теплота утворення ($\Delta H_{f,298,гтв}^0$), кДж/моль	Похибка в межах методів (Δ), %
транс-[Re ₂ Cl ₄ (C ₂ H ₅ COO) ₂]	36966	37521	1,5
транс-[Re ₂ Cl ₄ (C ₃ H ₇ COO) ₂]	63531	62488	1,64
транс-[Re ₂ Cl ₄ ((CH ₃) ₂ CHCOO) ₂]	35541	49669	28,4
транс-[Re ₂ Cl ₄ ((CH ₃) ₃ CCOO) ₂]	66350,9	66090	0,392

Враховуючи одержані значення ентальпій утворення, вишиковується закономірність підвищення стійкості до термічної деструкції, в ряді транс-карбоксилатів, в залежності від кислотного залишку: C₂H₅<(CH₃)₂CH<C₃H₇<(CH₃)₃C. Така залежність пояснюється наступним:

1) температура кипіння відповідних кислот підвищується із збільшенням молекулярної маси (°C):

CH₃COOH(118,1)<C₂H₅COOH(141,1)<(CH₃)₂CHCOOH(154,4)<C₃H₇COOH(163,5)<(CH₃)₃CCOOH(163,8);

2) при однаковій кількості атомів вуглецю, кислоти нормальної будови киплять при більш високій температурі, ніж кислоти розгалуженої будови (*ізо*-будови);

3) завдяки більш симетричній будові молекули, кислоти з парною кількістю атомів вуглецю сильніше взаємодіють між собою в кристалічній ґратці [12].

Розрахунок зміни вільної енергії Гіббса та оцінка можливості перебігу реакції за стандартних умов, для процесу хімічного парофазного осадження (англійське Chemical Vapor Deposition або CVD) металічного ренію з хлоркарбоксилатів диренію(III) транс-конфігурації.

Одержання термодинамічного параметру, такого як стандартна теплота утворення речовини, для даного класу сполук дає можливість оцінки можливості перебігу процесу термодеструкції з виділенням металічного ренію. Оцінка можливості перебігу реакцій термодеструкції проводилася за допомогою зміни вільної енергії Гіббса, за знаком якої можна зробити висновок про можливість або неможливість перебігу даного процесу. Значення ентропій транс-карбоксилатів наведено у табл. 3, розрахунки яких проводилися за [8].

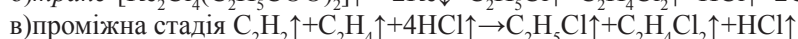
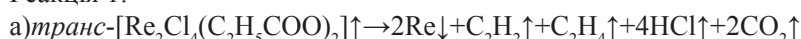
Таблиця 3

Значення ентропій для транс-карбоксилатів

Комплексе	S^0_{298} Дж/(моль×К)	C_p^{298} Дж/(моль×К)
транс-[$Re_2Cl_4(C_2H_5COO)_2$]	408,68	360,34
транс-[$Re_2Cl_4(C_3H_7COO)_2$]	412,31	413,88
транс-[$Re_2Cl_4((CH_3)_2CHCOO)_2$]	412,31	413,88
транс-[$Re_2Cl_4((CH_3)_3CCOO)_2$]	415,83	467,42

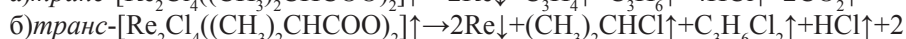
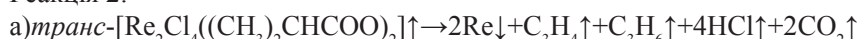
Було розглянуто наступні реакції термодеструкції:

Реакція 1:



C_2H_5Cl – хлоретан; $C_2H_4Cl_2$ – 1,2-дихлоретан.

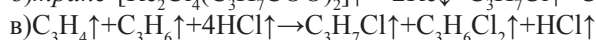
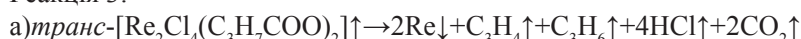
Реакція 2:



C_3H_4 – пропадієн; C_3H_6 – пропен; $(CH_3)_2CHCl$ – 2-хлорпропан; $C_3H_6Cl_2$ – 2,2-дих-

лорпропан.

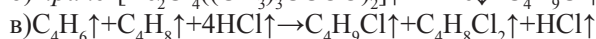
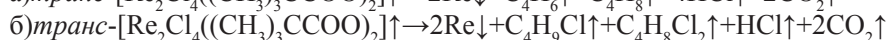
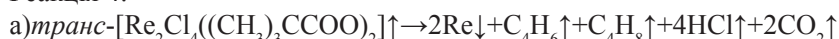
Реакція 3:



C_3H_4 – пропадієн; C_3H_6 – пропен; $(CH_3)_2CHCl$ – 2-хлорпропан; $C_3H_6Cl_2$ – 2,2-дих-

лорпропан.

Реакція 4:



C_4H_8 – 2-метилпропен; C_4H_6 – дивініл.

Термодинамічні параметри реакцій термодеструкції розраховувалися за стандартними формулами, з використанням літературних значень [8]. Результати розрахунків наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Термодинамічні параметри реакцій терморозкладу

Номер реакції	ΔH^0_{298} кДж/моль	ΔS^0_{298} Дж/(моль \times К)	ΔG^0_{298} кДж/моль
Реакція 1	-37843(а)	1557,37(а)	-38307(а)
	-38116,4(б)	874,41(б)	-38377(б)
	-273(в)	-497(в)	-125(в)
Реакція 2	-36484,7(а)	1644,34(а)	-36974(а)
Реакція 3	-63431,72(а)	1644,34(а)	-63921(а)
Реакція 4	-67153(а)	1702,28(а)	-67660(а)

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТІВ ТЕРМОДЕСТРУКЦІЇ

Металічний реній визначено за приростом маси кварцової трубки, в якій проводився терморозклад транс-карбоксилатів. Потім метал змивали концентрованим гідроген пероксидом (H_2O_2), надлишок H_2O_2 видаляли кип'ятінням, а утворена кислота $HReO_4$ відкрита за допомогою калій роданіду ($KSCN$) та станум(II) хлориду ($SnCl_2$) – поява жовто-коричневого забарвлення розчину [13]. Для кількісного визначення вмісту ренію, $HReO_4$ титрували натрій гідроксидом в присутності індикатора фенолфталеїну [13]. Кількість визначеного ренію відповідає 99,8-99,9% від вмісту в транс-карбоксилаті. Не дала якісної реакції взаємодія CO з платиною та фосфорномolibденовою кислотою [14], тобто реакції, які відбуваються із виділення CO , можна виключити (Примітка: повністю виключити утворення CO в процесі термічної деструкції неможна, тому що все одно можуть утворюватися незначні кількості карбон(II) оксиду, які неможливо визначити даними методами, але можна знехтувати при розгляді процесу). Карбон(IV) діоксид визначено за реакцією із вапняною водою ($Ca(OH)_2$).

Первинні галогеноалкіли загальної формули $C_nH_{2n+1}Cl$ визначені наступним методом: краплину розчину досліджуваної речовини у чотирихлористому вуглеці (CCl_4) змішували в мікропробірці з натрій тіосульфатом ($Na_2S_2O_3$). Після чого пробірку вміщували у гліцеринову баню, заздалегідь нагріту до $110^\circ C$. Далі температуру підіймали до $180^\circ C$. Спочатку $Na_2S_2O_3$ плавився у своїй кристалізаційній воді, а після випаровування води і розчинника тверднув. Отвір пробірки закривали папером конго, змочений розчином гідроген пероксиду. Поява синього кольору паперу вказувала на наявність первинних галогеноалкілів [15].

Вторинні галогеноалкіли загальної формули $C_nH_{2n}Cl_2$ визначено наступним способом: краплину розчину досліджуваної речовини обробляли в мікропробірці 2 краплями піридину та 5N розчином натрій гідроксиду. Відбувалося забарвлення шару піридину у світло-рожевий колір [15]. Для поглинання будь-якого $C_nH_{2n}Cl_2$ використовують диметилкетон.

Хлороводень (HCl) визначено наступним способом: після поглинання натрій гідроксидом, розчин нейтралізували нітратною кислотою (HNO_3) до нейтральної реакції. Далі краплю отриманого розчину вміщували у фарфоровий тигель, додавали 1 мл 2N $KMnO_4$, 0,5 мл 2N $Cu(NO_3)_2$ та 1 мл 2N $Ba(NO_3)_2$. Розчин випарювали (не прожарюючи). Сухий залишок змочували 3 мл дистильованої води, підігрівали та фільтрували. До прозорого фільтрату додавали 2-3 краплини концентрова-

ної HNO_3 та 1 мл розчину ртуть(I) нітрату ($\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$) [119]. Випадіння білого осаду вказує на наявність хлорид-аніону [16].

Проба на ацетилен з аміачним розчином міді(I) якісної реакції не дала [16]. Це вказує що ацетилен та його гомологи можуть утворюватися в перші моменти після початку реакції, але завдяки своїй реакційній здатності вступають у реакцію гідрогалогенування, таким чином приєднуючи HCl за правилом Марковникова. Тому на виході вже утворюються хлорпохідні, які можна виявити вищезазначеними методами. Тобто ацетиленові вуглеводні якісно виявити неможливо, а їх утворення підтверджується непрямим шляхом.

ВИСНОВКИ

Одержано експериментальні та теоретичні значення стандартної ентальпії утворення для ряду кластерних хлоркарбоксилатів диренію(III) транс-конфігурації. На основі одержаних термодинамічних та літературних даних температури кипіння відповідних карбонових кислот встановлено ряд збільшення термодинамічної стабільності транс-комплексів в залежності від замісника (ккал/моль):

$\text{C}_2\text{H}_5(8967,7) < (\text{CH}_3)_2\text{CH}(11871,2) < \text{C}_3\text{H}_7(14935) < (\text{CH}_3)_3\text{C}(15796,1) < \text{ймовірно } \text{C}_4\text{H}_9$ і т.д.

Встановлено значення ΔG_{298}^0 для методу CVD. Кластерні хлоркарбоксилати диренію(III) можуть бути використані для нанесення покриттів. Особливо цікавим є те, що за однакових умов, на тій самій підкладці проходить осадження плівки металічного ренію з різною морфологією в залежності від комплексу та його структури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cotton F.A. Metal atom clusters in oxide systems // *Inorg. Chem.* – 1964. – Vol. 3. – N 9. – P. 1217-1220. <http://dx.doi.org/10.1021/ic50019a003>
2. Штеменко А.В., Багіров Ш.А., Котельникова А.С. Тетрагалогенодиацетатные комплексы Re_2^{6+} транс конфигурации // *Журн. неорганической химии.* – 1981. – Т. 26. – № 1. – С. 111-114.
3. Ізюмський М.С., Нейковський С.И., Мельник С.Г., Штеменко А.В. Кластерные хлоркарбоксилаты дирения (III) как новые исходные вещества для химического газозафазного метода нанесения ренийевых покрытий // *Вопр. химии и хим. технологии.* – 2013. – № 1. – С. 134-136.
4. Sestak J. Thermophysical properties of solids. Their measurements and theoretical thermal analysis. – Academia Prague, 1984. – 456 p.
5. Павлова С.-С.А. Журавлева И.В., Толчинский Ю.И. Термический анализ органических и высокомолекулярных соединений (Методы аналитической химии). – М.: Химия, 1983. – 120 с.
6. Морачевский А.Г., Сладков И.Б. Руководство к выполнению термодинамических расчетов. – Ленинград, 1975. – 68 с.
7. Логвиненко В.А. Термический анализ координационных соединений и клатратов. – Новосибирск: Наука, 1982. – 128 с.
8. Равдель А.А., Пономарева А.М. Краткий справочник физико-химических величин. Издание десятое, испр. и дополн. – СПб.: «Иван Федоров», 2003. – 240 с.
9. Петров М.М., Михелев Л.А., Кукушкин Ю.Н. Неорганическая химия: Учебное пособие для техникумов. 3-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1981. – 544 с.
10. Trogler W.C., Cowman C.D., Gray H.B., Cotton F.A. Further studies of the electronic spectra of $\text{Re}_2\text{Cl}_8^{2-}$ and $\text{Re}_2\text{Br}_8^{2-}$. Assignment of the weak bands in the 600-350 nm region. Estimation of the dissociation energies of Metal-Metal quadruple bonds // *J. Am. Chem. Soc.* – 1977. – Vol. 99, N 9. – P. 2993-2996. <http://dx.doi.org/10.1021/ja00451a023>
11. Казанская А.С., Скобло В.А., Панченков Г.М. Расчеты химических равновесий. Сборник примеров и задач. Учебное пособие для вузов. – М.: «Высш. школа», 1974. – 288 с.
12. Петров А.А., Бальян Х.В., Троценко А.Т. Органическая химия. – Иван Федоров, 1981. – 672 с.

13. Борисова Л.В., Ермаков А.Н. Аналитическая химия рения. – М.: Наука, 1974. – 319 с.
14. Гинзбург С.И., Езерская Н.А., Прокофьева И.В., Федоренко Н.В., Шленская В.И., Бельский Н.К. Аналитическая химия платиновых металлов. – М.: Наука, 1972. – 616 с.
15. Feigl F. Spot tests in organic analysis. 6th ed. – New York: Elsevier, 1960. – 836 p.
16. Фрумина Н.С., Лисенко Н.Ф., Чернова М.А. Аналитическая химия элементов. Хлор. – М.: Наука, 1983. – 200 с.

Стаття надійшла до редакції 11.10.2016

М. С. Изюмский, А. С. Баскевич, С. Г. Мельник, А. В. Штеменко
ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет»,
кафедра неорганической химии,
пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49005, Украина
email: maksimizumsky@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАНДАРТНОЙ ЭНТАЛЬПИИ ОБРАЗОВАНИЯ *ТРАНС*-ТЕТРАХЛОРО-ДИ-μ- КАРБОКСИЛАТОВ ДИРЕНИЯ(III)

Изучены реакции сгорания транс-тетрахлоро-ди-μ-карбоксилатов дирения(III) (*транс*- $[\text{Re}_2\text{Cl}_4(\text{RCOO})_2]$, где R – C_2H_5 ; C_3H_7 ; $(\text{CH}_3)_2\text{CH}$; $(\text{CH}_3)_3\text{C}$ в воздуха. Продукты сгорания определены методами аналитической химии. По экспериментальным кривым ДТА определены изменения энтальпий реакций. На основе второго закона термодинамики (закон Гесса), рассчитаны экспериментальные значения стандартных теплот образования *транс*- $[\text{Re}_2\text{Cl}_4(\text{RCOO})_2]$, где R – C_2H_5 ; C_3H_7 ; $(\text{CH}_3)_2\text{CH}$; $(\text{CH}_3)_3\text{C}$, которые составляют 36966; 63531, 35541, 66350 кДж/моль соответственно. Теоретическим методом Полинга, через электроотрицательности атомов элементов, рассчитана стандартная энтальпия образования исследуемых комплексов. Рассчитана термодинамическая возможность получения металлического рения путем термического разложения транс-карбоксилатов, что может быть использовано для химической парофазной металлизации (CVD).

Ключевые слова: хлоркарбоксилат, рений, энтальпия, термодинамика, энергия Гиббса, термодеструкция.

M. S. Iziunskyi, A. S. Baskevich, S. G. Melnyk, A. V. Shtemenko
Ukrainian State University of Chemical Technology
Department of Inorganic Chemistry
Gagarin Av. 8, Dnipropetrovs'k 49005, Ukraine
email: maksimizumsky@gmail.com

THE STUDY OF ENTHALPHY OF FORMATION FOR DIRHENIUM(III) *TRANS*-TETRACHLORO-DI-μ- CARBOXYLATES

Exothermic reactions for dirhenium(III) *trans*-tetrachloro-di-μ-carboxylates (*транс*- $[\text{Re}_2\text{Cl}_4(\text{RCOO})_2]$, where R = C_2H_5 ; C_3H_7 ; $(\text{CH}_3)_2\text{CH}$; $(\text{CH}_3)_3\text{C}$) of burning in air were investigated. The products of burning by methods of chemical analysis were studied. The experimental enthalpy changes of reactions of complexes burning were obtained by the DTA curves. Standard enthalpies of formation for *транс*- $[\text{Re}_2\text{Cl}_4(\text{RCOO})_2]$ (where R = C_2H_5 ; C_3H_7 ; $(\text{CH}_3)_2\text{CH}$; $(\text{CH}_3)_3\text{C}$) are 36966; 63531, 35541, 66350 kJ/mol; they the were obtained by second law of thermochemistry (Hess law). Theoretical enthalpies of formation for *транс*-carboxylates of

dirhenium(III) were calculated by Linus Pauling semiempirical method. The thermodynamic possibilities of reactions with deposition of pure metal rhenium were measured. This investigation can be used in chemical vapor deposition (CVD) of metal rhenium.

Keywords: chlorocarboxylate, rhenium, enthalpy, thermodynamic, Gibbs energy, thermodestruction.

REFERENCES

1. Cotton F. A. *Metal atom clusters in oxide systems*. Inorg. Chem., 1964, vol. 3, no 9, pp. 1217-1220. <http://dx.doi.org/10.1021/ic50019a003>
2. Shtemenko A.V., Bagirov Sh.A., Kotel'nikova, A.S. *Tetrahalodiacetato complexes of Re_2^{6+} trans-configurations* [Tetragalodiacetatnye komplekсы Re_2^{6+} trans konfiguracii]. Journal of Inorganic Chemistry, 1981, vol. 26, no 1, pp. 111-114.
3. Iziumskiy M.S., Nejkovskiy S.I., Melnyk S.G., Shtemenko A.V. *Cluster chlorkarboksilatov dirhenium (III) as a new starting materials for chemical vapor deposition method for obtaining rhenium coating* [Klasternye hlorkarboksilatny direnija(III) kak novye ishodnye veshhestva dlja himicheskogo gazofaznogo metoda nanesenija renievyh pokrytij]. Voprosy khimii i khim. tekhnologii, 2013, no 1, pp. 134-136.
4. Sestak J. *Thermophysical properties of solids. Their measurements and theoretical thermal analysis*. Academia Prague, 1984, 456 p.
5. Pavlova S.-S.A., Juravleva I.V., Tolchinskiy J.I. *Thermal analysis of organic and macromolecular compounds (Methods of analytical chemistry)* [Termicheskij analiz organicheskikh i vysokomolekuljarnyh soedinenij (Metody analiticheskoy khimii)]. Moscow, Chemistry, 1983, 120 p.
6. Morachevskiy A.G., Sladkov I.B. *Guide to the implementation of the thermodynamic calculations* [Rukovodstvo k vypolneniju termodinamicheskikh raschjotov]. Leningrad, 1975, 68 p.
7. Logvinenko V.A. *Thermal analysis of coordination compounds and clathrates* [Termicheskij analiz koordinacii soedinenij i klatratov]. Novosibirsk, Science, 1982, 128 p.
8. Ravdel A.A., Ponomareva A.M. *Quick reference guide of physico-chemical values. 10th ed.* [Krakij spravocnik fiziko-himicheskikh velichin]. St. Peterburg: "Ivan Fedorov", 2003, 240 p.
9. Petrov M.M., Mihelev L.A., Kukushkin J.N. *Inorganic chemistry: techbook. 3rd ed.* [Neorganicheskaja himija: uchebnoe posobie dlja tehnikumov]. Leningrad, Chemistry, 1981, 544 p.
10. Trogler W.C., Cowman C.D., Gray H.B., Cotton F.A. *Further studies of the electronic spectra of $Re_2Cl_8^{2-}$ and $Re_2Br_8^{2-}$. Assignment of the weak bands in the 600-350 nm region. Estimation of the dissociation energies of Metal-Metal quadruple bonds*. Journal American Chemical Society, 1977, vol. 99, no 9, pp. 2993-2996. <http://dx.doi.org/10.1021/ja00451a023>
11. Kazanskaja A.S., Skoblo V.A. *Calculations of chemical equilibriums. Collection of examples and tasks* [Raschjoty himicheskikh ravnovesij. Sbornik primerov i zadach. Uchebnoe posobie dlja vuzov]. Moscow, "High School", 1974, 288 p.
12. Petrov A.A., Bal'jan H.V., Troshenko A.T. *Organic chemistry* [Organicheskaja himija]. St. Peterburg, "Ivan Fedorov", 1981, 672 p.
13. Borisova L.V., Ermakov A.N. *Analytical chemistry of rhenium* [Analiticheskaja himija renija]. Moscow, Science, 1974, 319 p.
14. Ginsburg S.I., Ezerskaja I.V., Prokof'eva N.V., Fedorenko N.V., Shlenskaja V.I., Bel'skiy N.K. *Analytical chemistry of platinum metals* [Analiticheskaja himija platinovykh metallov]. Moscow, Science, 1972, 616 p.
15. Feigl F. *Spot tests in organic analysis. 6th ed.* New York, Elsevier, 1960, 836 p.
16. Frumina N.S., Lisenko N.F., Chernova M.A. *Analytical chemistry of elements. Chlorine* [Analiticheskaja himija jelementov. Hlor]. Moscow: Science, 1983, 200 p.