

УДК 546.732

DOI: 10.17072/2223-1838-2021-1-5-16

О.Ю. Каменщиков¹, А.А. Кетов², В.С. Корзанов¹, М.П. Красновских¹, И.Г. Мокрушин¹¹Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия**ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ КОБАЛЬТА ТЕРМОЛИЗОМ
АЦЕТАТА, ОКСАЛАТА И ФОРМИАТА КОБАЛЬТА (II)**

Исследовано термическое разложение формиата, ацетата и оксалата кобальта (II) методом синхронного термического анализа. Установлено, что во всех случаях конечным продуктом является металлический кобальт. Термогравиметрический анализ, совмещенный с дифференциальной сканирующей калориметрией и масс-спектроскопией, позволил установить схемы термоллиза и газообразные продукты разложения солей. Определены условия получения порошкообразного металлического кобальта из солей карбоновых кислот. Методом электронной микроскопии определено, что размер частиц и структура металлических порошков зависят от вида исходной соли.

Ключевые слова: кобальт; термическое разложение; соли карбоновых кислот кобальта (II)

Поступила в редакцию 02.02.2021; после доработки 19.02.2021; принята к публикации 24.02.2021

O.Yu. Kamenshchikov¹, A.A.Ketov², V.S. Korzanov¹, M.P. Krasnovskikh¹, I.G. Mokrushin¹¹Perm State University, Perm, Russia²Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia**PREPARATION OF METALLIC COBALT POWDERS BY THERMOLYSIS
OF COBALT (II) ACETATE, OXALATE AND FORMATE**

The thermal decomposition of cobalt (II) formate, acetate, and oxalate was studied by synchronous thermal analysis. It is established that in all cases the final product is metallic cobalt. Thermogravimetric analysis combined with differential scanning calorimetry and mass spectroscopy made it possible to establish thermolysis schemes and gaseous products of salt decomposition. The conditions for obtaining powdered metallic cobalt from carboxylic acid salts are determined. It was determined by electron microscopy that the particle size and structure of metal powders depend on the type of initial salt.

Keywords: cobalt, thermal decomposition, salts of carboxylic acids of cobalt (II)

Received 02.02.2021; revised 19.02.2021; accepted 24.02.2021

© Каменщиков О.Ю., Кетов А.А., Корзанов В.С., и др., 2021



Данная статья распространяется на условиях лицензии
[Creative Commons «Attribution» \(«Атрибуция»\) 4.0 Всемирная.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Металлические порошки находят широкое применение в промышленности [1, 2], в частности кобальт используется в качестве легирующего элемента преимущественно в виде порошка при производстве быстрорежущих сталей, твердых сплавов, износостойких покрытий, постоянных магнитов и изделий лакокрасочной промышленности. Наиболее распространенными методами производства кобальтового порошка являются восстановление оксидов и солей водородом, электролиз растворов солей кобальта [3, 4], а также диссоциация карбониллов [5]. Ранее предлагались способы получения порошков металлов распылением расплавов газовым потоком [6] и даже истиранием [7]. Интерес к получению порошка кобальта путем термического разложения солей карбоновых кислот связан с тем, что в условиях доступного аппаратного оформления исключаются недостатки других методов: применения высоких температур (как при восстановлении оксидов), существенные затраты энергии и времени, свойственные электролизу, и необходимость использования карбонила, являющегося при разложении источником больших объемов токсичного угарного газа. Положительными качествами термолиза являются простота и высокая чистота получаемого продукта, что позволяет расширить возможности его применения. Однако процесс требует выбора инертной среды, свойства которой влияют на характеристики получаемого порошка. Таким образом, целью исследования было определение термического режима образования металлического кобальта при термолизе ацетата, оксалата и формиата кобальта (II) и оценка структуры и размера частиц по-

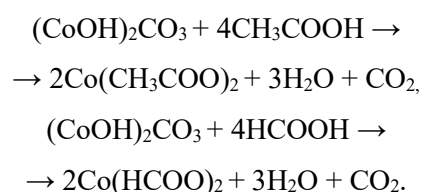
рошков, образующихся при термолизе в среде высококипящих углеводородов.

Следует отметить, что получение порошков различных металлов термолизом солей карбоновых кислот исследовалось и ранее [8–11], и сам способ не является новым, но интерес представляет выбор среды, в которой проводится процесс, так как в зависимости от ее природы, агрегатного состояния или физико-химических свойств могут быть получены порошки с различной структурой и размерами [12].

В представленной работе приведены результаты экспериментальных исследований методом синхронного термического анализа поведения ацетата, оксалата и формиата кобальта (II) при температурах до 500°C. Используя данные синхронного термического анализа и масс-спектропии определены термические режимы получения порошкового кобальта из его солей. Строение и размеры частиц порошков металла, полученного из различных солей, определялись методом электронной микроскопии.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования были выбраны соли, позволяющие получить чистый кобальт в дисперсном состоянии. Ацетат и формиат кобальта (II) готовили путем растворения основного карбоната кобальта в карбоновых кислотах при 60°C по схемам:



Растворы упаривали до кристаллизации солей, которые сушили при 90°C.

Оксалат кобальта (II) получали обменной реакцией из раствора сульфата кобальта (II), осаждая раствором оксалата аммония по схеме $\text{CoSO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{CoC}_2\text{O}_4\downarrow + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Осадок оксалата кобальта (II) отфильтровывали, промывали дистиллированной водой и сушили при 90°C. Полученные соли подвергали термическому исследованию.

Термический анализ, синхронизированный с масс-спектрометрией, проводили на приборе STA 449 F1 Jupiter производства фирмы NETZSCH (Германия), позволяющем проводить исследование образца с совместной регистрацией термогравиметрических и калориметрических характеристик, при одновременном определении газовых продуктов масс-спектрометром QMS 303 CF Aeolos того же производителя. Нагревание образцов проходило с постоянной скоростью (5 К/мин) в динамической азотной атмосфере (50 мл/мин), доступные температурные границы экспериментов 45–500°C, перед анализом проводилось вакуумирование печи с образцом, использовались корундовые тигли, выполнялась калибровка по реперным веществам, коррекция базовой линии по методике, поставляемой с прибором. Обработка результатов осуществлялась с помощью программного обеспечения NETZSCH Proteus.

Оценку структуры образующихся порошков и оценку размеров частиц осуществляли, используя сканирующий электронный микроскоп высокого разрешения SEM «НИТАСН» S-3400N (Япония) с рентгенфлуоресцентной приставкой для рентгеноспектрального микроанализа химического состава твердотельных образцов, с пределом обнаружения – около 1–2

мас. % и минимальной областью исследования – 1 мкм².

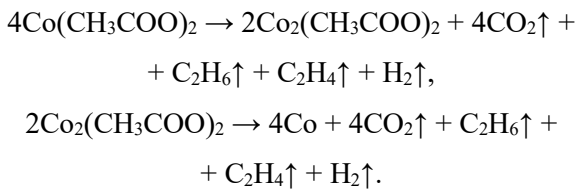
Результаты и их обсуждение

Термический анализ

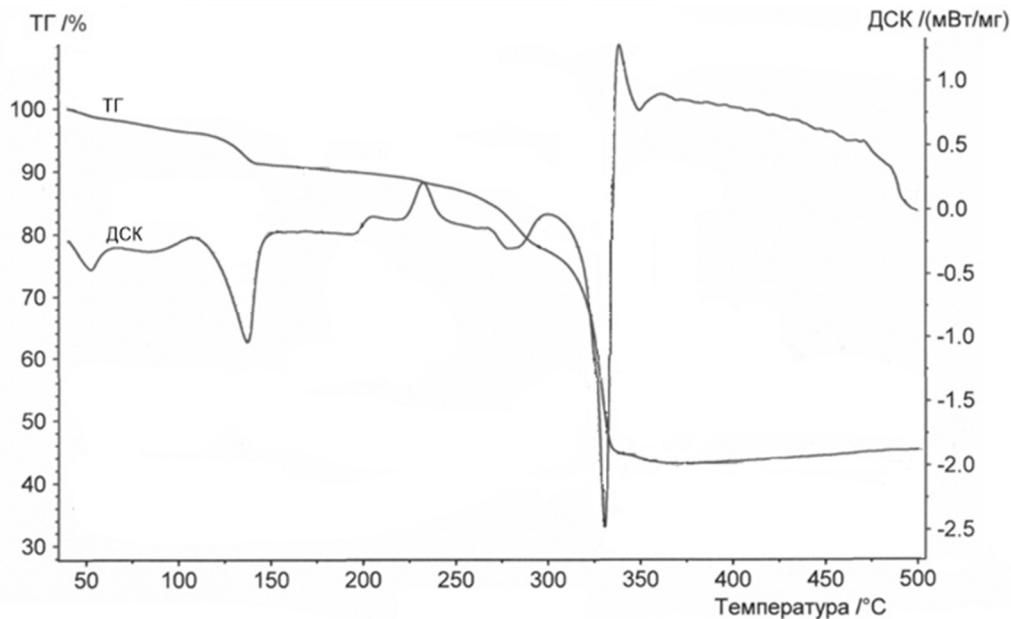
Термическая диссоциация ацетата кобальта (рис. 1) начинается с удаления воды как адсорбированной, так и кристаллизационной, обеспечивающего суммарную потерю массы 9,3 %. Эндотермическому эффекту, обусловленному удалением кристаллизационной воды в температурном интервале 113,9–141,8°C, с максимальной скоростью при 137,2°C, площадью – 155,4 Дж/г, соответствует приблизительное понижение массы на 5 %, отвечающее составу кристаллогидрата $\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$.

При дальнейшем увеличении температуры при 196,9–239,9°C ДСК-зависимость регистрирует экзотермический эффект, максимум которого приходится на 230°C. Наблюдаемый эффект совпадает с постепенным снижением массы образца на 12,8 %, регистрируемой ТГ-кривой, и ростом содержания в газовой фазе углекислого газа, водяного пара, следов этана и этилена, что свидетельствует о начале окислительной деструкции соли. Далее интервале 300–345°C происходит быстрое разложение соли, достигающее максимальной скорости при 330,5°C с падением массы на 33,3 % и существенным ростом содержания углекислого газа, воды и незначительного – этана и едва определяемого этилена. Быстрая стадия разложения сопровождается регистрацией на ДСК-кривой сочетания противоположных тепловых эффектов – доминирующего, продолжительного по времени экзотермического, вызванного окислением продуктов разложения соли, и быстрого, но отчетливо выраженного эндотермического, обусловленного выходом

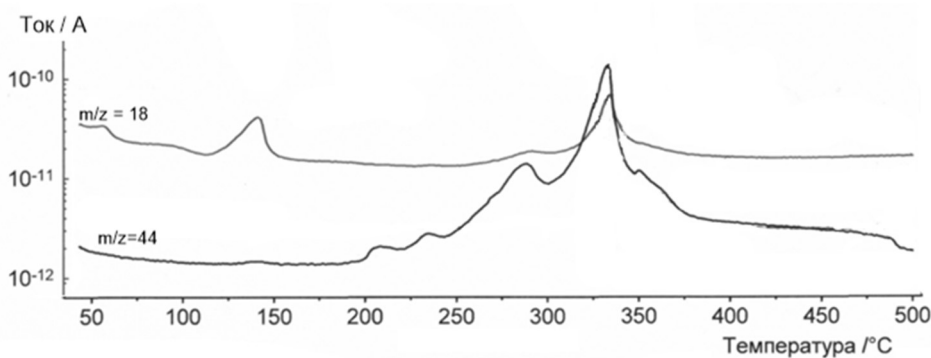
газообразных продуктов. Для рассматриваемых участков можно предположить две схемы последовательных реакций:



Регистрация воды обусловлена окислением водорода примесью кислорода в азоте. Существование соединений кобальта со степенью окисления +1 не противоречит химическим свойствам этого элемента [13], а предположение о существовании связи Co–Co в составе ацетата $\text{Co}_2(\text{CH}_3\text{COO})_2$ обусловлено его валентными возможностями.



а



б

Рис. 1. Данные синхронного термического (а) и масс-спектрометрического (б) исследования ацетата кобальта (II)

При 345–364,6°C происходит плавное падение массы на 1,5 %, указывающее на возможное частичное осмоление органического кислотного остатка, обугливание и окисление, что

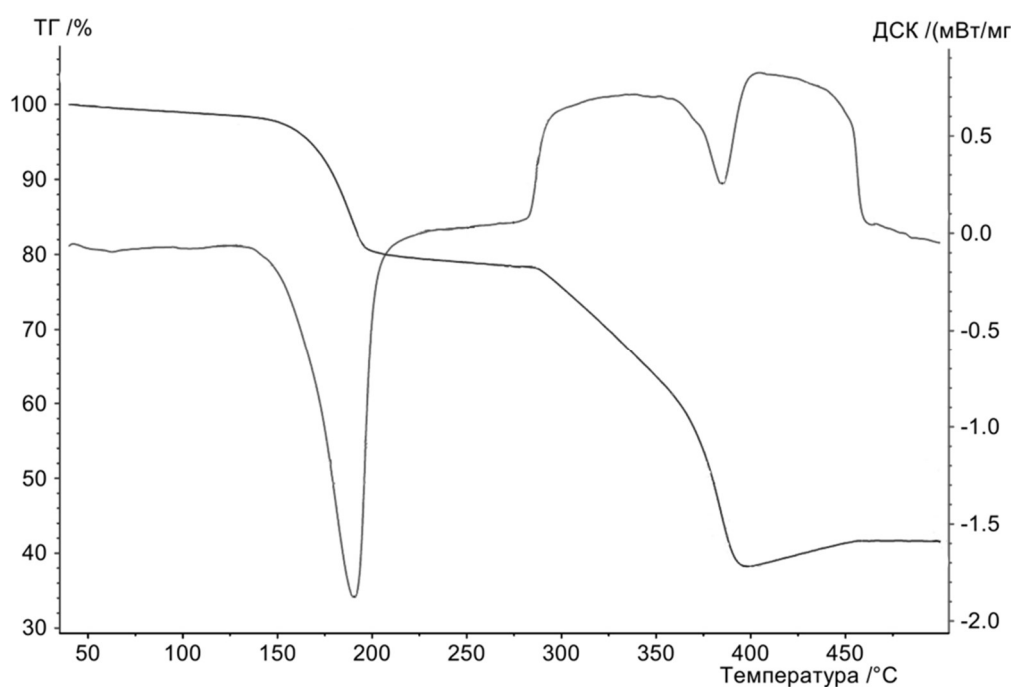
подтверждается регистрацией незначительного выделения углекислого газа и водяного пара.

Заключительная часть термограммы характеризуется повышением массы образца на 2,1 %, вызванного окислением металлического

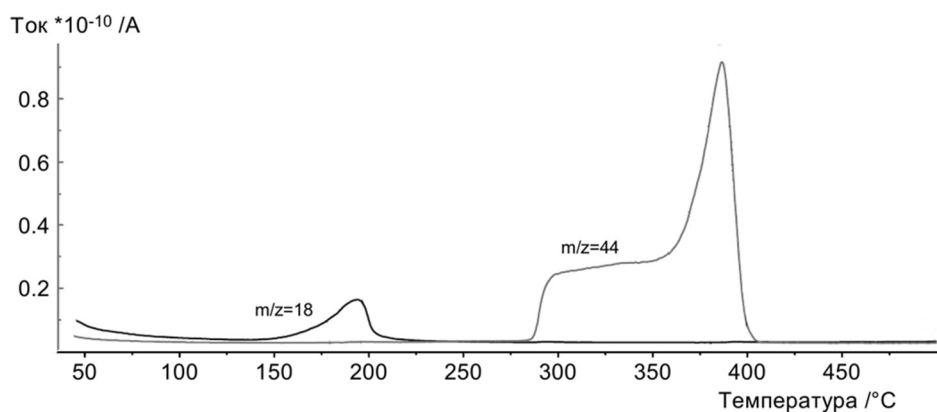
кобальта и возвращением ДСК-кривой из экзотермической области к базовой линии, что свидетельствует о завершении окисления металлического кобальта. Регистрируемые термограммой процессы окисления указывают на присутствие кислорода в используемом азоте.

Анализ термограммы оксалата кобальта (рис. 2) показывает, что первая стадия его термического разложения начинается удалением

кристаллизационной воды в интервале 161–198°C с максимальной скоростью при 190,5°C, понижением массы на 21,5 % и эндотермическим эффектом площадью 616,2 Дж/г. Сопоставление массовых долей удаляющейся воды и получающегося безводного оксалата отвечает составу исходного кристаллогидрата – $\text{CoC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.



а

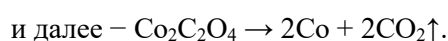
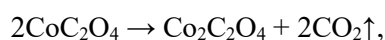


б

Рис. 2. Данные синхронного термического (а) и масс-спектрометрического (б) исследования оксалата кобальта (II)

Вторая стадия термической диссоциации начинается при 286,3°C и условно может быть разделена на медленную (до 370°C) и быструю (от 370 до 404,7°C). Стадия характеризуется потерей массы 40,2 %, Доминирующим является растянутый во времени экзотермический эффект, обусловленный окислением образующегося металлического кобальта, на который накладывается эндотермический эффект с экстремумом при 384,8°C, вызванный удалением углекислого газа.

Сложный механизм термолитиза оксалата на второй стадии, подтверждаемый ходом термогравиметрической кривой и характером выделения углекислого газа, указывает на возможность образования промежуточного соединения кобальта (+1) и в этом случае:

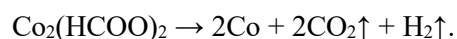
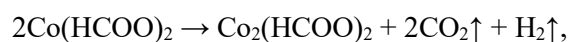


Нагревание от 404,7 до 465,1°C сопровождается ростом массы на 3,4 % и продолжением экзотермического эффекта, до завершения окисления кобальта. Выход ТГ-зависимости на участок постоянных значений совпадает с возвращением ДСК-кривой к базовой линии, что подтверждает прямую связь окисления кобальта с экзотермическим эффектом.

Термическая диссоциация формиата кобальта протекает в две стадии (рис. 3). Первая, обусловленная удалением кристаллизационной воды, начинается при 111,5°C, достигает максимальной скорости при 152,2°C и характеризуется эндотермическим эффектом площадью 681,3 Дж/г и потерей массы 21,2 %. Количество удаляющейся воды соответствует составу кристаллогидрата – $\text{Co}(\text{HCOO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Вторая стадия термической диссоциации осуществляется в интервале 248,6–271,6°C.

Стадия характеризуется потерей массы 39,1 %, доминирующим экзотермическим эффектом, на который накладывается эндотермический эффект с экстремумом при 254°C, вызванный удалением углекислого газа и воды. Вид дифференциальной термогравиметрической кривой и масс-спектрометрических кривых регистрации газообразных продуктов разложения, эндотермического эффекта и ДТГ-кривой указывают, как и в предыдущих случаях, на сложность этой стадии. Предполагаемые схемы:

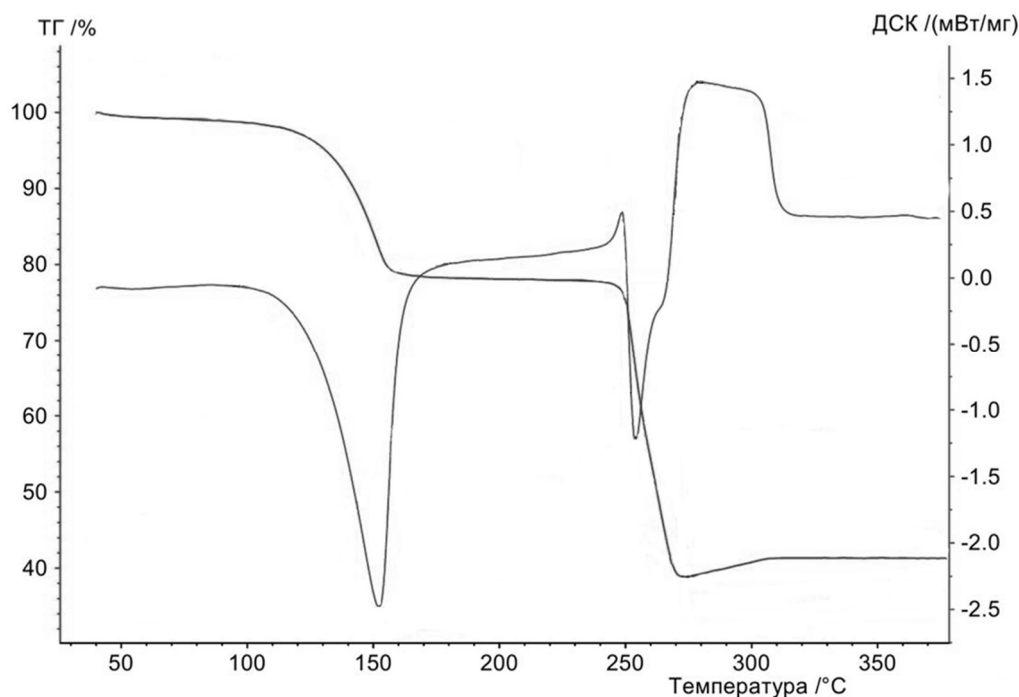


Дальнейшее нагревание до 307,7°C приводит к росту массы образца на 2,3 % за счет окисления кобальта и вызванного этим экзотермическому эффекту. Завершение процесса окисления характеризуется выходом ТГ-кривой на участок постоянных значений и совпадает с возвращением ДСК-кривой к базовой линии. Как и в предыдущих случаях, ход ДСК-зависимости подтверждает прямую связь экзотермического эффекта с окислением кобальта.

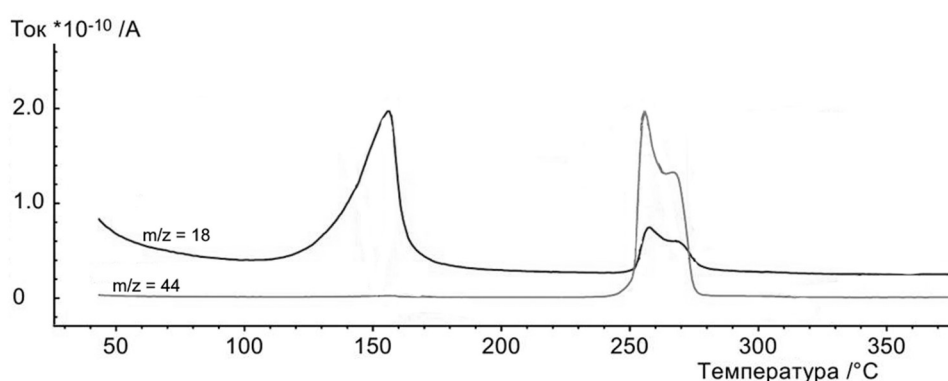
Сопоставление значений температуры завершения термической диссоциации солей показывает, что наибольшей термической устойчивостью обладает оксалат (404,7°C), несколько меньшей – ацетат (около 340°C) и самой низкой – формиат (272,4°C). Следовательно, наиболее удобным по затрачиваемой энергии при получении металлического кобальта термолитизом является формиат. Использование оксалата и ацетата ограничивается более высокими температурами разложения. Дальнейшее получение металлического кобальта проводилось в конденсированной среде, так как

термолиз в газовой фазе сопровождается плавлением и спеканием разлагаемых солей, что

препятствует формированию порошков.



а



б

Рис. 3. Данные синхронного термического (а) и масс-спектрометрического (б) исследования формиата кобальта (II)

Оценка структуры и размера порошков кобальта

Методом электронной микроскопии была проведена оценка структуры и размеров частиц и элементного состава порошков металлического кобальта полученного термолизом ацетата, оксалата и формиата кобальта (II) в среде высококипящих углеводородов с длиной

углеродной цепи $C_{10}-C_{15}$. На рис. 4, а представлен снимок порошка, полученного из ацетата. Порошок состоит из удлинённых образований, напоминающих скрученные волокна, преимущественно объединённых в губкообразные комки. Отдельные фрагменты преимущественно обладают длиной 10–20 мкм и шириной 5 мкм. Определить форму и размеры

кристаллов на представленном снимке не удастся. Рентгеновский отзвук на электронное облучение свидетельствует о том, что порошок состоит из чистого кобальта. Сигнал кислоро-

да указывает на присутствие в исследуемом образце оксида, возникшего после контакта высокодисперсного кобальта с кислородом воздуха.

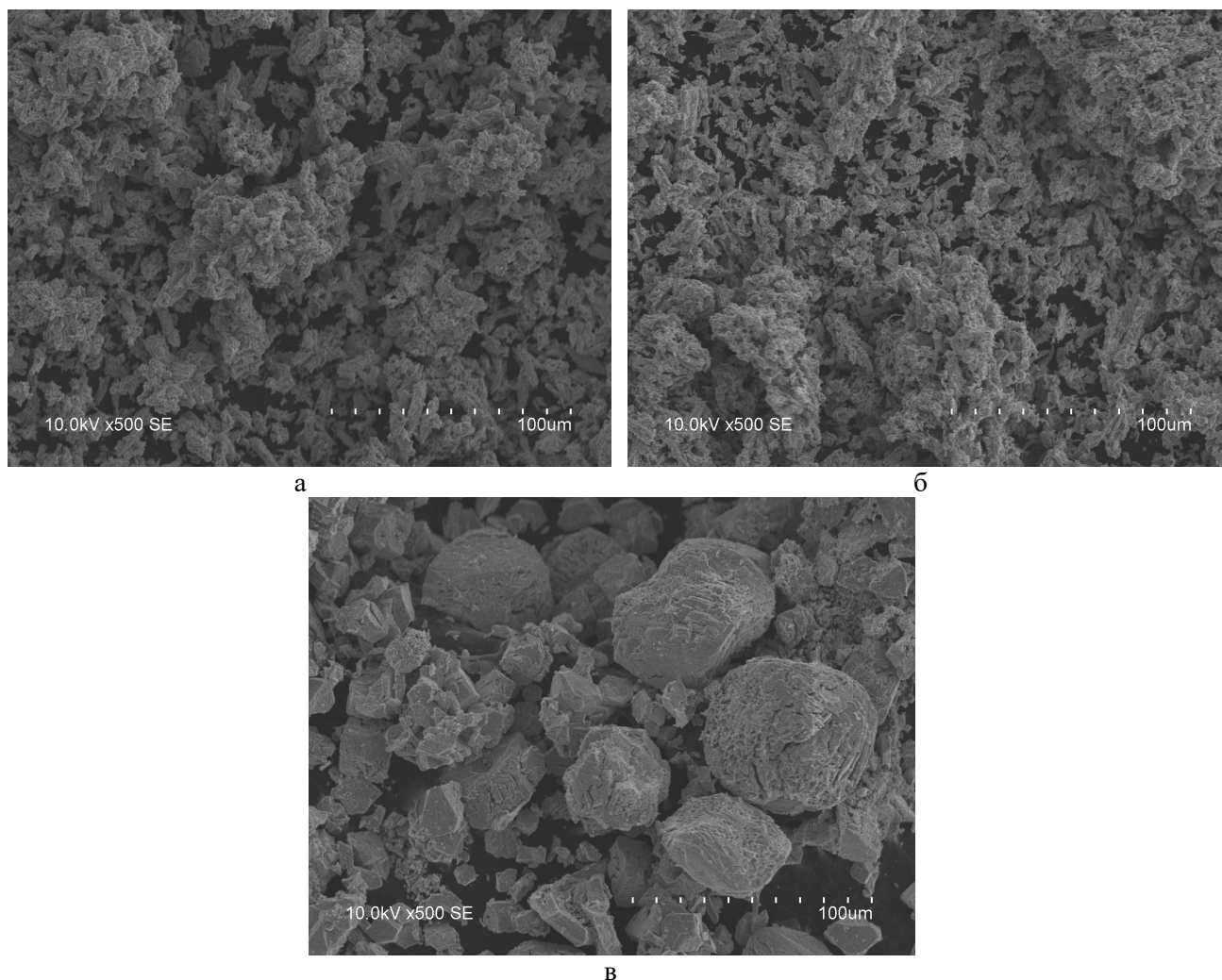


Рис. 4. Снимки порошка кобальта, полученного термолизом ацетата (а), оксалата (б) и формиата (в) кобальта (II)

Порошок, полученный из оксалата (рис. 4, б), внешне напоминает образовавшийся из ацетата, но частицы порошка, наблюдаемые отдельно от комков, значительно меньше по размеру, длина до 10 мкм, ширина от долей до нескольких микрон.

Порошок, полученный из формиата (рис. 4, в), существенно отличается от двух первых. Он состоит из образований, близких по форме к шару, но на поверхности комков и

среди их осколков отчетливо видны кристаллические фрагменты различной формы с ровными гранями. Размеры комков от 40 до 70 мкм, отдельных фрагментов – от 10 до 30 мкм.

Заключение

Синхронный термический анализ поведения ацетата, оксалата и формиата кобальта (II) и электронно-микроскопическое исследование порошков кобальта, полученных термолизом

указанных солей в среде высококипящих углеводородов, показали:

1) термолитиз солей кобальта протекает в две стадии – первая обусловлена дегидратацией, вторая – окислительно-восстановительным разложением;

2) вторая стадия носит сложный характер и предполагает деструкцию солей до металла через неустойчивое соединение кобальта (+1);

3) конечным продуктом термолитиза солей является дисперсный металл, восприимчивый к окислительному воздействию, что вызывает необходимость применения защитной среды;

4) термолитиз формиата дает металлический кобальт при наименьшей температуре, что предполагает его предпочтительное использование для получения порошка, однако из формиата формируются частицы наибольшего размера;

5) термическая устойчивость соли обратно пропорциональна размеру частиц образующегося металлического порошка, то есть более термически стабильные ацетат и оксалат обеспечивают образование порошков с меньшим размером частиц.

Список литературы

1. *Бальшин М.Ю.* Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна. М.: Металлургия, 1972. 336 с.
2. *Кипарисов С.С., Либенсон Г.А.* Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1980. 496 с.
3. *Способ* электролитического получения высокодисперсного магнитного порошка кобальта: авторское свидетельство 189155 СССР / Болтушкина Е.В., Михайлов Н.И.; – № 936819/22-2; заявл. 06.01.1965; опубл. 17.11.1966.
4. *Электролит* для получения металлических порошков: авторское свидетельство № 1183566 СССР / Гуцин Б.Б., Тюрин Н.Г., Лобанов В.Г., и др.; заявитель Уральский ордена трудового красного знамени политехнический институт им. С.М. Кирова. – № 3603440; заявл. 13.06.1983; опубл. 07.10.1985.
5. *Способ* получения порошка кобальта: авторское свидетельство № 499050 СССР / Белозерский Н.А., Заболотский И.Д., Шереметьев С.Д., и др.; заявитель Проектный и научно-исследовательский институт «Гипроникель». – № 2063522; заявл. 30.09.1974; опубл. 15.01.1976.
6. *Способ* получения металлического порошка: авторское свидетельство № 1082566 СССР / Мамедов Б.Ш., Ничипоренко О.С., Ярусевич Л.И.; заявители Запорожский ордена «Знак почета» машиностроительный институт им. В.Я. Чубаря, Ордена трудового красного знамени институт проблем материаловедения АН УССР. – № 3427376; заявл. 26.04.1982; опубл. 30.03.1984.
7. *Гропянов А.В., Ситов Н.Н., Жукова М.Н.* Порошковые материалы: учеб. пособие. СПб: ВШТЭ СПбГУПТД. 2017. С. 9.
8. *Корзанов В.С., Семенов В.И., Чернышев А.Р.* Получение порошков меди, никеля и кобальта термическим разложением солей карбоновых кислот // Химия, технология и промышленная экология неорганических материалов. Пермь, 2003. Вып. 6. С. 109–115.
9. *Пивоваров Д.А., Голубчикова Ю.Ю., Ильин А.П.* Получение порошков металлов и их оксидов термическим разложением

- оксалатов Cu, Ni, Co. // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321, № 3. С. 11–16.
10. Корзанов В.С., Красновских М.П., Мокрушин И.Г. Исследование термоллиза ацетата, оксалата, формиата меди и образующегося в результате этого порошка металла. // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2015. № 2(18). С. 93–101.
11. Каменщиков О.Ю., Кетов А.А., Корзанов В.С., Красновских М.П. Синтез дисперсного никеля термическим разложением формиата, ацетата и оксалата никеля (II) // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2018. Т. 8, № 3. С. 278–285.
12. Баранов Д.А., Губин С.П. Магнитные наночастицы: достижения и проблемы химического синтеза // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. 2009. Т. 1, № 1–2. С. 129–144.
13. Пятницкий И.В. Аналитическая химия кобальта. М.: Наука, 1965. С. 164–166.
- References**
1. Balshin, M.Yu. (1972) *Nauchnyye osnovy poroshkovoy metallurgii i metallurgii volokna* [Scientific bases of powder metallurgy and fiber metallurgy], Metallurgy, Moscow. (in Russian).
2. Kiparisov, S.S. and Libenson, G.A. (1980) *Poroshkovaya metallurgiya* [Powder metallurgy], Metallurgy, Moscow. (In Russian).
3. Boltushkina, E.V. and Mikhailov, N.I. (1966) *Sposob elektroliticheskogo polucheniya vysokodispersnogo magnitnogo poroshka kobal'ta* [Method of electrolytic production of highly dispersed magnetic cobalt powder], USSR, pat. 189155. (in Russian).
4. Gushchin, B.B., Tyurin, N.G., Lobanov, V.G., Kremko, E.G. and Krichunov, S.M. (1985) *Elektrolit dlya polucheniya metallicheskih poroshkov* [Electrolyte for obtaining metal powders], USSR, pat. 1183566. (in Russian).
5. Belozerskiy, N.A., Zabolotskiy, I.D., Shermetyev, S.D., Krylov, A.S., Ivanov, L.A., Ivlev, V.S., Krichevskaya, O.D., Segal, L.D., Meltser, R.L. and Rachinsky, Ya.A. (1976) *Sposob polucheniya poroshka kobal'ta* [Method for producing cobalt powder], USSR, pat. 499050. (in Russian).
6. Mamedov, B.Sh., Nichiporenko, O.S., Yarusevich, L.I. (1984) *Sposob polucheniya metallicheskogo poroshka* [Method for producing metal powder], USSR, pat. 1082566. (in Russian).
7. Gropyanov A.V., Sitov N.N. and Zhukova M.N. (2017) *Poroshkovyye materialy* [Powder materials], HSTE SPb STUPP, St. Petersburg. (in Russian).
8. Korzanov, V.S., Semenov, V.I. and Chernyshev, A.R. (2003) *Polucheniye poroshkov medi, nikelya i kobal'ta termicheskim razlozheniyem soley karbonovykh kislot* [Production of powders of copper, nickel and cobalt by thermal decomposition of salts of carboxylic acids], *Khimiya, tekhnologiya i promyshlennaya ekologiya neorganicheskikh materialov*, vol. 6, pp. 109–115.
9. Pivovarov, D.A., Golubchikova, Yu.Yu. and Ilyin, A.P. (2012) *Polucheniye poroshkov metallov i ikh oksidov termicheskim razlozheniyem oksalatov Cu, Ni, Co* [Preparation of metal powders and their oxides by thermal decomposition of Cu, Ni, and Co oxa-

- lates], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, vol. 321, no.3, pp. 11–16.
10. Korzanov, V.S., Krasnovskikh, M.P. and Mokrushin, I.G. (2015) Issledovaniye termoliza atsetata, oksalata, formiata medi i obrazuyushchegosya v rezul'tate etogo poroshka metalla [Investigation of thermolysis of acetate, oxalate, copper formate and the resulting metal powder], *Bulletin of Perm University. Chemistry*, no. 2, pp. 93–101.
11. Kamenshchikov, O.Yu., Ketov, A.A., Korzanov, V.S. and Krasnovskikh, M.P. (2008) Sintez dispersnogo nikelya termicheskim razlozheniyem formiata, atsetata i oksalata nikelya (II) [Synthesis of dispersed nickel by thermal decomposition of formate, acetate and oxalate of nickel (II)], *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 8, no. 3, pp. 278–285.
12. Baranov, D.A. and Gubin, S.P. (2009) Magnitnyye nanochastitsy: dostizheniya i problemy khimicheskogo sinteza [Magnetic nanoparticles: achievements and problems of chemical synthesis], *Radioelektronika. Nanosistemy. Informatsionnyye tekhnologii*, vol. 1, no. 1–2, pp. 129–144.
13. Pyatnitsky, I.V. (1965) *Analiticheskaya khimiya kobal'ta* [Analytical chemistry of cobalt], Nauka, Moscow. (in Russian).

Об авторах

Олег Юрьевич Каменщиков,
техник кафедры физической химии,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.
15kamskiy61@mail.ru

Александр Анатольевич Кетов,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры охраны окружающей
среды,
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет
614990, г. Пермь, Комсомольский просп., 29.
<https://orcid.org/0000-0002-5472-2194>
alexander_ketov@mail.ru

Вячеслав Сергеевич Корзанов,
кандидат химических наук, доцент,
доцент кафедры неорганической химии,
химической технологии и техносферной
безопасности,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.
KOR494@yandex.ru

About the authors

Oleg Y. Kamenshchikov,
Technic, Department of Physical Chemistry,
Perm State University
15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia.
15kamskiy61@mail.ru

Aleksandr A. Ketov,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor, Department of Environmental
Protection,
Perm National Research Polytechnic University
29, Komsomolsky Prospekt, Perm, 614990,
Russia
<https://orcid.org/0000-0002-5472-2194>
alexander_ketov@mail.ru

Vyacheslav S. Korzanov,
Candidate of Chemical Sciences,
associate professor, Department of Inorganic
Chemistry, Chemical Technology and Techno-
sphere Security,
Perm State University
15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia.
KOR494@yandex.ru

Марина Павловна Красновских,
ассистент кафедры неорганической химии,
химической технологии и техносферной
безопасности,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.
krasnovskih@yandex.ru

Marina P. Krasnovskikh,
Assistant, Department of Inorganic Chemistry,
Chemical Technology and Technosphere
Security,
Perm State University
15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia.
krasnovskih@yandex.ru

Иван Геннадьевич Мокрушин,
кандидат химических наук,
доцент кафедры неорганической химии, хи-
мической технологии и техносферной без-
опасности,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.
<https://orcid.org/0000-0002-4095-8366>
mig@psu.ru

Ivan G. Mokrushin,
Candidate of Chemical Sciences,
Associate professor, Department of Inorganic
Chemistry, Chemical Technology and
Technosphere Security,
Perm State University.
15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia.
<https://orcid.org/0000-0002-4095-8366>
mig@psu.ru

Информация для цитирования:

Каменищиков О.Ю., Кетов А.А., Корзанов В.С., и др. Получение металлических порошков кобальта термолизом ацетата, оксалата и формиата кобальта (II) // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2021. Т. 11, вып. 1. С. 5–16. DOI: 10.17072/2223-1838-2021-1-5-16.

Kamenshchikov O.Yu., Ketov A.A., Korzanov V.S., i dr. *Poluchenie metallicheskih poroshkov ko-balta termolizom atsetata, oksalata i formiata kobalta (II)* [Preparation of metallic cobalt powders by thermolysis of cobalt (II) acetate, oxalate and formate] // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Khimiya» = Bulletin of Perm University. Chemistry. 2021. Vol. 11. Issue 1. P. 5–16 (in Russ.). DOI:10.17072/2223-1838-2021-1-5-16.