

**КИНЕТИКА РАСТВОРЕНИЯ ОКСИДОВ КОБАЛЬТА
И МЕДИ В КИСЛЫХ СРЕДАХ, СОДЕРЖАЩИХ ЭДТА**Е.А. Елисеева¹

el.yakusheva@yandex.ru

О.Н. Плахотная²И.Г. Горичев³Т.К. Атанасян³Л.Е. Слынько¹¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация² Первый Московский государственный медицинский университет
им. И.М. Сеченова, Москва, Российская Федерация³ Московский педагогический государственный университет,
Москва, Российская Федерация**Аннотация**

Изучена зависимость скорости растворения оксидов d-элементов (оксидов кобальта и меди) в кислых средах с добавками трилона «Б» от разных факторов. Повышение концентрации ЭДТА усиливает растворение оксидов кобальта и тормозит растворение оксида меди. Определены порядки по ионам водорода и ЭДТА: для оксида кобальта $0,5 \pm 0,1$; для оксида меди $n_{H^+} = 0,6$, а для ЭДТА $-0,6$. Особенность изученной кинетики в ЭДТА — прохождение скорости растворения оксидов кобальта через максимум при $pH = -1$, для оксида меди в присутствии комплексона ЭДТА наблюдается сначала снижение скорости растворения, а затем ее увеличение при $pH = 5-8$. Энергия активации процесса составляет $E_a (H_2SO_4) = 70$ кДж/моль, $E_a (ЭДТА) = 60$ кДж/моль, $E_a (CuO) = 73 \pm 0,5$ кДж/моль. Проведенное моделирование процессов показало, что поверхностной частицей, которая определяет скорость растворения, является $MeOH$ в минеральных кислотах, а в комплексе — $MeHY$

Ключевые слова

Оксид кобальта, оксид меди, кинетика, растворение, моделирование, модель Бартона — Странского, метод Хоугена — Ватсона, ЭДТА

Поступила в редакцию 12.12.2016
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Введение. Систематические исследования по растворению оксидов d-элементов позволяют количественно описать процессы растворения данных соединений, связать поверхностные электрохимические явления на оксидах кобальта и меди с их кислотно-основными свойствами и механизмами растворения [1–5]. Мировые запасы полезных ископаемых, содержащих кобальт и медь, постепенно сокращаются, поэтому необходимо разрабатывать новые технологии для выделения соединений кобальта и меди из обедненных руд. Проведенные исследования посвящены разработке моделей растворения оксидных фаз кобальта и меди в различных средах [2, 5–8].

Цель работы — изучить механизм растворения оксидов Co_3O_4 и CuO в растворах минеральной кислоты (серной) с добавками комплексона (ЭДТА) и влияние на него различных факторов, провести моделирование перечисленных процессов.

Методика изучения кинетических закономерностей растворения оксидов кобальта и меди в серной кислоте, содержащей добавки ЭДТА. Фракции оксидов Co_3O_4 и CuO с размером частиц 80...100 мкм и массой 0,3 г вводили в термостатируемый реактор объемом 500 мл, содержащий водный раствор серной кислоты заданной концентрации с добавками ЭДТА. Температура реакции варьировалась в пределах 298...343 К. Скорость перемешивания раствора составляла 800 мин^{-1} . Регулирование pH осуществлялось добавлением к раствору соответствующих кислот. Концентрацию ионов кобальта определяли роданидным методом, а ионов меди — с помощью батокупроина и формальдоксима [7].

Доля растворенного оксида α рассчитывалась по уравнению: $\alpha = D_t / D_\infty = C_t / C_\infty$, где $D_t (C_t)$, $D_\infty (C_\infty)$ — оптические плотности (концентрации ионов) фильтрата в моменты времени t и при полном растворении оксида [2].

Результаты и их обсуждение. Согласно проведенному анализу данных [8], с повышением концентрации минеральной кислоты при постоянной температуре доля растворенного оксида увеличивается.

С учетом зависимостей ($T = 303 \text{ К}$, $\text{pH} = 2,0$ для оксида кобальта и $\text{pH} = 1,12$ для оксида меди), приведенных на рис. 1, с повышением концентрации ЭДТА доля растворенного оксида кобальта увеличивается. В отношении оксида меди

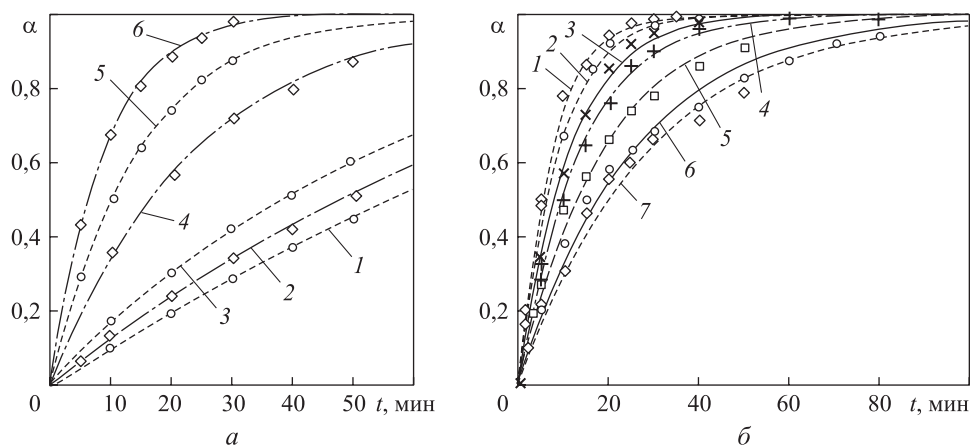


Рис. 1. Результаты влияния концентрации ЭДТА на кинетику растворения оксидов Co_3O_4 и CuO (точки — эксперимент, линии — результат моделирования):

а — зависимость доли растворенного Co_3O_4 от времени при взаимодействии его с H_2SO_4 ($C = 0,234 \text{ моль/л}$) в водных растворах, содержащих добавки ЭДТА ($\text{pH} = 0,5$) различной концентрации (1 — 0,00025; 2 — 0,0005; 3 — 0,001; 4 — 0,002; 5 — 0,006; 6 — 0,01 моль/л); *б* — зависимости доли растворенного оксида меди (II) от времени при $\text{pH} = 1,12$ и 343 К в присутствии ЭДТА различной концентрации (1 — 0,00134; 2 — 0,00269; 3 — 0,00458; 4 — 0,00674; 5 — 0,01; 6 — 0,0146; 7 — 0,020 моль/л)

ситуация противоположная: добавки ЭДТА снижают скорость растворения оксида меди (II) в кислых средах. При построении данных $\alpha - t / t_{0,5}$ наблюдается инвариантность от концентрации комплексона.

Результаты влияния pH на кинетику растворения оксидов Co_3O_4 и CuO приведены на рис. 2. Анализ данных показал, что скорость процесса для оксида кобальта проходит через максимум при $\text{pH} = 0,5$; для оксида меди сначала наблюдается снижение скорости растворения, а затем ее увеличение при $\text{pH} = 5-8$.

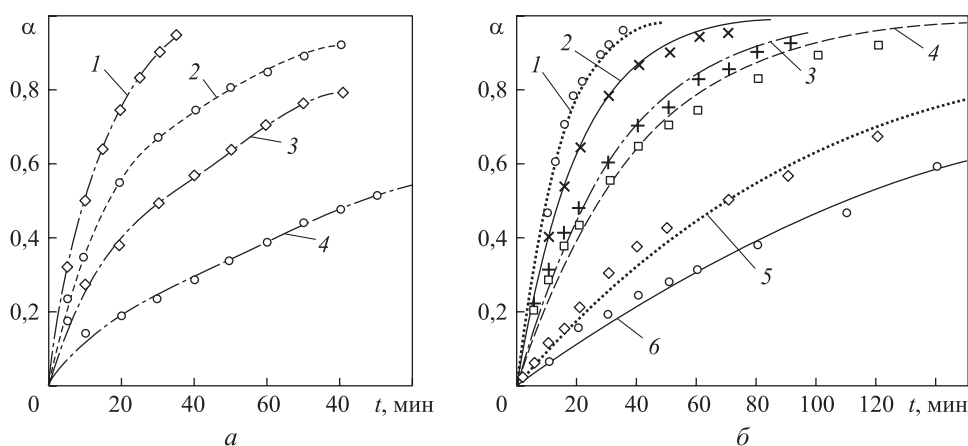


Рис. 2. Результаты влияния pH на кинетику растворения оксидов Co_3O_4 и CuO (точки — эксперимент, линии — результат моделирования):

a — зависимость доли растворенного Co_3O_4 от времени при растворении его в H_2SO_4 ($C = 0,01$ моль/л) и в водных растворах, содержащих добавки ЭДТА ($C_{\text{ЭДТА}} = 0,01$ моль/л) при различных значениях pH (1 — $-0,62$; 2 — $-0,1$; 3 — $0,1$; 4 — $0,55$; 5 — $2,75$; 6 — $5,75$); *б* — зависимость доли растворенного оксида CuO от времени при растворении в ЭДТА ($T = 343$ К, $C_{\text{ЭДТА}} = 0,01$ моль/л) при различных значениях pH (1 — $0,8$; 2 — $1,1$; 3 — $1,4$; 4 — $1,6$; 5 — $2,0$; 6 — $2,38$)

Результаты влияния температуры на кинетику растворения оксидов Co_3O_4 и CuO приведены на рис. 3. С увеличением температуры доля растворенного оксида возрастает. При этом наблюдается инвариантность кинетических кривых растворения оксида кобальта от температуры.

Анализ кинетических данных для расчета кинетических параметров. Вид полученных кривых указывает на большое число активных центров растворения. Для определения скорости растворения (W_i), энергии активации (E_a), порядков скорости реакции по различным ионам (n_i) провели анализ кинетических кривых методом аффинных преобразований. Экспериментальные данные были представлены в координатах $\alpha - t / t_{0,5}$ (где $t_{0,5}$ — время растворения 50 % навески) на рис. 4 (для CuO зависимость $\alpha - t / t_{0,5}$ будет иметь аналогичный вид). Полное их совпадение по отношению к типу оксида, pH, температуре и составу раствора указывает на единый механизм процесса растворения.

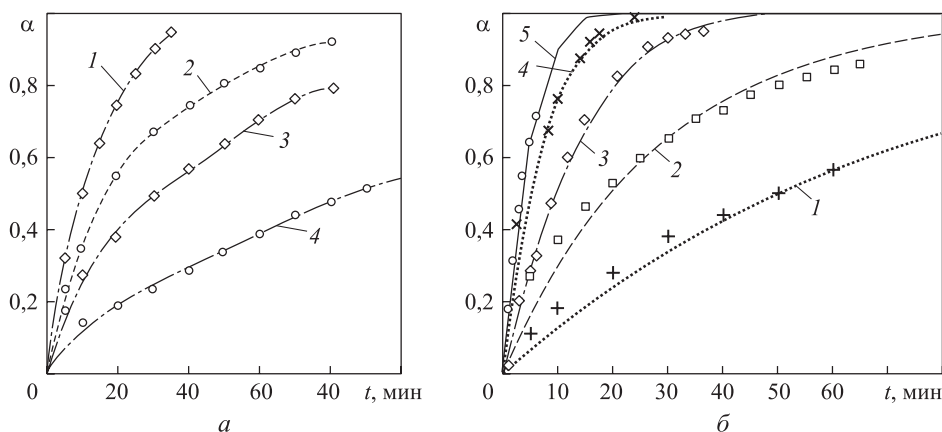


Рис. 3. Результаты влияния температуры на кинетику растворения оксидов Co_3O_4 и CuO (точки — эксперимент, линии — результат моделирования):

a — зависимость доли растворенного Co_3O_4 от времени в H_2SO_4 ($C = 0,01$ моль/л) и в водных растворах, содержащих добавки ЭДТА ($C_{\text{ЭДТА}} = 0,01$ моль/л) при различных значениях температуры (1 — 363; 2 — 353; 3 — 343; 4 — 333 К); *b* — зависимость доли растворенного оксида от времени при растворении CuO в 0,01 моль/л ЭДТА ($\text{pH} = 0,8$) при различных значениях температуры (1 — 323; 2 — 333; 3 — 343; 4 — 353; 5 — 363 К)

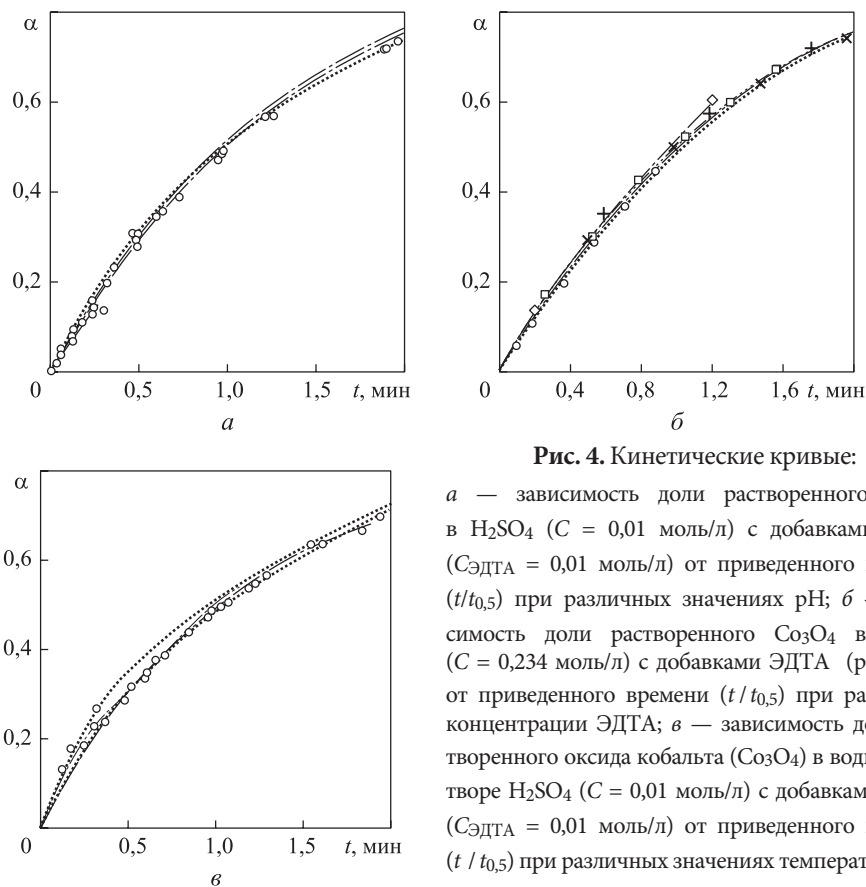


Рис. 4. Кинетические кривые:

a — зависимость доли растворенного Co_3O_4 в H_2SO_4 ($C = 0,01$ моль/л) с добавками ЭДТА ($C_{\text{ЭДТА}} = 0,01$ моль/л) от приведенного времени ($t/t_{0,5}$) при различных значениях pH ; *b* — зависимость доли растворенного Co_3O_4 в H_2SO_4 ($C = 0,234$ моль/л) с добавками ЭДТА ($\text{pH} = 0,5$) от приведенного времени ($t/t_{0,5}$) при различной концентрации ЭДТА; *v* — зависимость доли растворенного оксида кобальта (Co_3O_4) в водном растворе H_2SO_4 ($C = 0,01$ моль/л) с добавками ЭДТА ($C_{\text{ЭДТА}} = 0,01$ моль/л) от приведенного времени ($t/t_{0,5}$) при различных значениях температуры

Скорость растворения оксида можно представить уравнением [1, 3]:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} = W_i f(\alpha),$$

где W_i — удельная скорость растворения; $f(\alpha)$ — функция, которая учитывает изменение поверхности оксида с течением времени.

Для выяснения механизма растворения и моделирования процесса использовали модель Бартона — Странского [3–5]:

$$\alpha = 1 - \exp[-A \operatorname{sh}(Wt)]; \quad \frac{\partial \alpha}{\partial t} = W(1 - \alpha) \sqrt{A^2 + \ln^2(1 - \alpha)}. \quad (1)$$

Здесь A — константа, значение которой прямо пропорционально числу активных центров на поверхности одной частицы оксида, Кл/м².

Для нахождения значений переменных W и A использованы методы нелинейного регрессионного анализа, реализованные в программе *MathCAD*.

С помощью уравнения (1) были рассчитаны значения удельной скорости W и установлена ее зависимость от концентрации кислот, анионов, ионов водорода (рН). Найдено, что зависимости $\lg W - \lg[\text{H}_2\text{SO}_4, \text{ЭДТА}]$ не зависят от выбора уравнений гетерогенной кинетики, описывающих кинетические кривые α – t при различных параметрах (E_a , порядки по ионам водорода и анионам).

Изучение влияния рН на скорость растворения в растворе серной кислоты позволило определить порядки по ионам водорода. Для оксида кобальта и оксида меди $n_{\text{H}^+} = 0,6$.

Экспериментальные данные, представленные на рис. 3, позволили рассчитать значение E_a с использованием уравнения Аррениуса.

В большинстве случаев эффективная энергия активации процесса растворения составляет приблизительно 50...80 кДж/моль, что свидетельствует о том, что процесс растворения протекает в кинетической области.

Зависимость удельной скорости растворения исследуемых оксидов в серной кислоте от различных параметров (C , T , рН) можно представить в виде эмпирического уравнения

$$W = W_0 \left(\frac{[\text{H}^+]}{[\text{H}^+] + K_1} \right) \left(\frac{[\text{HSO}_4^-]}{[\text{HSO}_4^-] + K_2} \right) \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right),$$

где W_0 — константа скорости растворения, мин⁻¹; K_1, K_2 — постоянные.

При постоянной температуре ($T = 363$ К) между удельной скоростью растворения Co_3O_4 в H_2SO_4 ($[\text{SO}_4^{2-}] = 0,01$ моль/л) с добавками ЭДТА ($C_{\text{ЭДТА}} = 0,01$ моль/л) и рН установилась следующая зависимость (в числителе приведены значения величин для Co_3O_4 , в знаменателе — для CuO):

рН	-0,62/0,80	-0,10/1,10	0,10/1,40	0,55/1,60	2,75/2,00	5,75/2,18
$\lg W$	-2,20/-2,56	-1,69/-2,79	-1,8/-3,045	-2,30/-3,16	-2,6/-3,22	-2,91/-3,39

Анализ экспериментальных данных и результаты расчетов позволяют описывать зависимость общей скорости растворения оксидов от концентрации кислоты (H_2SO_4 , ЭДТА), T , pH обобщенным уравнением вида

$$\frac{da}{dt} = f(S)f([H^+],[A^-])f(T) = (1-\alpha)\sqrt{A^2 + \ln^2(1-\alpha)}W \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right).$$

Здесь $f(S)$ — функция изменения поверхности во времени; $f([H^+][A^-])$ — функция влияния концентрации ионов водорода и анионов на постоянную скорости растворения W ; $f(T)$ — функция влияния температуры на скорость;

$$W = W_0 \left(\frac{[H^+]}{[H^+] + K_1} \right) \left(\frac{[A^-]}{[A^-] + K_2} \right),$$

где $[A^-] \equiv [HSO_4^-]$ или $[H_3Y^-]$; $[H_3Y^-]$ — концентрация ионов ЭДТА.

Моделирование влияния ЭДТА на скорость растворения оксидов кобальта и меди в растворах серной кислоты. Предложена кислотно-основная модель, позволяющая описать адсорбционные явления, выявить особенности адсорбции комплексонов, а также моделировать процессы растворения оксидов кобальта и меди.

В целях выявления природы лимитирующей стадии были рассмотрены различные модели механизмов растворения [1, 3, 5].

Оптимальной является модель Хоугена — Ватсона:

$$W = W_0 \Gamma_{H_4Y} \Gamma_{H^+}.$$

Здесь $\Gamma_{H_4Y} = \Gamma_\infty \left(\frac{[H_4Y]}{[H_4Y] + K_{1ад}} \right)$; $\Gamma_{H^+} = \Gamma_\infty \frac{[H^+]}{[H^+] + K_{2ад}}$.

Тогда

$$W = W_0 \left(\frac{[H_4Y]}{[H_4Y] + K_{1ад}} \right) \left(\frac{[H^+]}{[H^+] + K_{2ад}} \right), \quad (2)$$

где $K_{1ад}, K_{2ад}$ — константы, обратные адсорбции, моль/л.

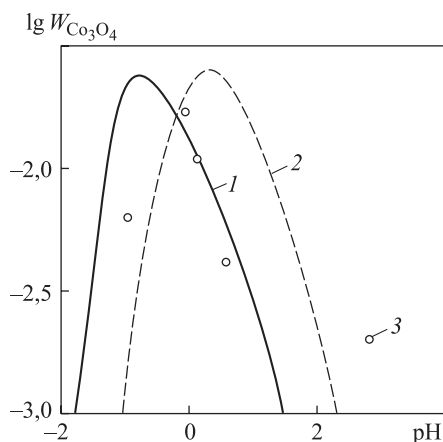
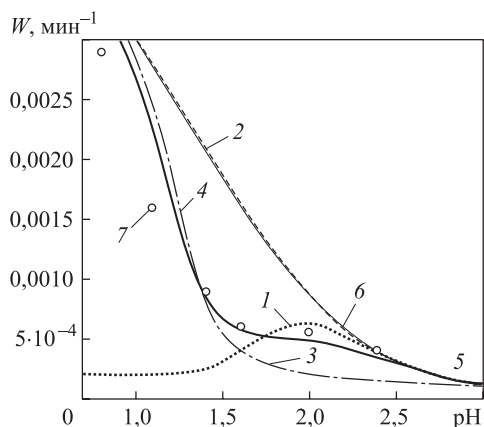


Рис. 5. Результаты моделирования зависимости $\lg W_{Co_3O_4}$ — pH в растворах ЭДТА:

- 1 — с учетом поверхностной частицы H_4Y^0 ;
- 2 — с учетом поверхностного комплекса H_3Y^- ; 3 — экспериментальные данные

Рис. 6. Влияние различных ионов на зависимость скорости растворения оксида меди (II) от рН в присутствии 0,01 моль/л ЭДТА:

1 — Cu^{2+} ; 2 — CuH_2Y ; 3 — CuHY^{1-} ; 4 — CuY^{2-} ;
5 — $(\text{Cu}(\text{OH})\text{Y})^{3-}$; 6 — $(\text{Cu}(\text{OH})_2\text{Y})^{4-}$; 7 — экспериментальные данные



Согласно зависимостям, приведенным на рис. 5 и 6, уравнение (2) позволяет описывать экспериментальные данные зависимости скорости растворения оксида кобальта или меди от рН. Кислотно-основная модель объясняет кинетические закономерности растворения оксидов кобальта и влияние ЭДТА.

Выводы. Серная кислота увеличивает скорость растворения оксидов кобальта и меди. Установлена особенность, заключающаяся в том, что добавки ЭДТА ускоряют процесс растворения Co_3O_4 и замедляют процесс растворения CuO . Порядки по ионам водорода для оксидов меди и кобальта 0,5, по ЭДТА — у Co_3O_4 0,5, у CuO $-0,7 \dots -0,6$, энергия активации для оксидов равна $70 \dots 75$ кДж/моль. При моделировании зависимости удельной скорости растворения от рН были предложены промежуточные частицы для ЭДТА. Такой частицей стала H_3Y^- .

ЛИТЕРАТУРА

1. Батраков В.В., Горичев И.Г., Киприянов Н.А. Влияние двойного электрического слоя на кинетику растворения оксидов металлов // Электрохимия. 1994. Т. 30. № 4. С. 444–458.
2. Якушева Е.А., Горичев И.Г., Атанасян Т.К., Изотов А.Д. Изучение кинетики растворения оксидов кобальта (Co_3O_4 , Co_2O_3) при различных концентрациях H_2SO_4 , HCl , ЭДТА и рН // Тезисы XIX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Т. 3. Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. С. 366.
3. Атанасян Т.К., Горичев И.Г., Якушева Е.А. Неорганическая химия. Ч. I. Поверхностные явления на границе оксид/электролит в кислых средах. М.: Прометей, 2013. 166 с.
4. Моделирование кинетики растворения диспропорционирующих оксидов / А.В. Кузин, И.Г. Горичев, В.В. Курилкин, Е.А. Якушева, П.И. Мирзоян // Тезисы XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Т. 2b. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2016. С. 303–304.
5. Дельмон Б. Кинетика гетерогенных реакций. М.: Мир, 1972. 555 с.
6. Якушева Е.А., Горичев И.Г., Атанасян Т.К., Лайнер Ю.А. Кинетика растворения оксидов кобальта в кислых средах // Металлы. 2010. № 1. С. 21–27.
7. Моделирование кинетических процессов растворения оксидов кобальта и меди в серной кислоте / Е.А. Якушева, И.Г. Горичев, Т.К. Атанасян, О.Н. Плахотная, В.Н. Горячева // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2017. № 3. С. 124–134.
DOI: 10.18698/1812-3368-2017-3-124-134

8. *Кинетика* растворения оксидов кобальта Co_3O_4 и железа Fe_3O_4 в серной кислоте / Е.А. Елисеева, Л.Е. Слынько, О.Н. Плахотная и др. // *Успехи современного естествознания*. 2017. № 8. С. 19–23.

Елисеева Елена Анатольевна — канд. хим. наук, доцент кафедры «Химия» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Плахотная Ольга Николаевна — канд. хим. наук, доцент кафедры аналитической, физической и коллоидной химии Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2).

Горичев Игорь Георгиевич — д-р хим. наук, профессор кафедры общей химии Московского педагогического государственного университета (Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1/1).

Атанасян Татьяна Климентьевна — канд. хим. наук, доцент кафедры общей химии Московского педагогического государственного университета (Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1/1).

Слынько Лариса Евгеньевна — канд. техн. наук, доцент кафедры «Химия» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Кинетика растворения оксидов кобальта и меди в кислых средах, содержащих ЭДТА / Е.А. Елисеева, О.Н. Плахотная, И.Г. Горичев, Т.К. Атанасян, Л.Е. Слынько // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*. 2018. № 1. С. 115–124.

DOI: 10.18698/1812-3368-2018-1-115-124

KINETICS OF COBALT AND COPPER OXIDES DISSOLUTION IN ACIDIC MEDIA CONTAINING EDTA

Е.А. Eliseeva¹

el.yakusheva@yandex.ru

О.Н. Plakhotnaya²

И.Г. Gorichev³

Т.К. Atanasyan³

Л.Е. Slynko¹

¹ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

³ Moscow State University of Education, Moscow, Russian Federation

Abstract

We studied the dependence of the rate of dissolution of d-elements oxides (cobalt and copper oxides) in acidic media with EDTA additives from different factors. Increase in EDTA concentration enhances the cobalt and copper oxides dissolution, while the copper oxide dissolution is inhibited. Within the research we determined the orders by hydrogen ions and EDTA: for cobalt oxide it is 0.5 ± 0.1 ; for copper oxide it is

Keywords

Cobalt oxides, copper oxides, kinetics, dissolution, simulation, Barton — Stranskiy model, Hougen — Watson, EDTA

$n_{H^+} = 0,6$, and by EDTA it is ≈ -0.6 . The peculiarity of the studied kinetics in EDTA is that the rate of cobalt oxides dissolution passes through a maximum at $pH = -1$, for copper oxide in the presence of chelating agent EDTA the dissolution rate first decreases, and then it increases at pH from 5 to 8. The activation energy of the process is $E_a (H_2SO_4) = 70$ kJ/mol, $E_a (EDTA) = 60$ kJ/mol, for copper oxide the activation energy is 73 ± 0.5 kJ/mol. The simulation of the processes showed that the surface particle, which determines the rate of dissolution is $MeOH^+$ in mineral acids, and in the chelating agent it is $MeHY^-$

Received 12.12.2016

© BMSTU, 2018

REFERENCES

- [1] Batrakov V.V., Gorichev I.G., Kipriyanov N.A. Effect of double electric layer on dissolution kinetics of metal oxides. *Elektrokhimiya*, 1994, vol. 30, no. 4, pp. 444–458 (in Russ.).
- [2] Yakusheva E.A., Gorichev I.G., Atanasyan T.K., Izotov A.D. Research on dissolution kinetics of cobalt oxides (Co_3O_4 , Co_2O_3) in case of different concentrations of H_2SO_4 , HCl, EDTA and pH . *Tezisy XIX Mendeleevskogo s'ezda po obshchey i prikladnoy khimii. T. 3* [Thes. XIX Mendeleev Conf. on General and Applied Chemistry. Vol. 3]. Volgograd, IUNL VolgGTU Publ., 2011, pp. 366 (in Russ.).
- [3] Atanasyan T.K., Gorichev I.G., Yakusheva E.A. Neorganicheskaya khimiya. Chast I. Poverkhnostnye yavleniya na granitse oksid/elektrolit v kislykh sredakh [Non-organic chemistry. P. 1. Surface phenomena on oxide/electrolyte interface in acid environment]. Moscow, Prometey Publ., 2013. 166 p.
- [4] Kuzin A.V., Gorichev I.G., Kurilkin V.V., Yakusheva E.A., Mirzoyan P.I. Dissolution kinetics modelling of disproportionating oxides. *Tezisy XX Mendeleevskogo s'ezda po obshchey i prikladnoy khimii. T. 2b* [Thes. XIX Mendeleev Conf. on General and Applied Chemistry. Vol. 2b]. Ekaterinburg, RAS Ural branch, 2016, pp. 303–304 (in Russ.).
- [5] Delmon B. Introduction à la cinétique hétérogène. Editions TECHNIP, 1969. 695 p.
- [6] Yakusheva E.A., Gorichev I.G., Atanasyan T.K., Layner Yu.A. Kinetics of dissolution of cobalt oxides in acidic media. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2010, vol. 2010, iss. 1, pp. 18–23. DOI: 10.1134/S0036029510010040
- [7] Yakusheva E.A., Gorichev I.G., Atanasyan T.K., Plakhotnaya O.N., Goryacheva V.N. Modelling of kinetic processes of cobalt and copper oxides dissolution in sulfuric acid. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2017, no. 3, pp. 124–134 (in Russ.). DOI: 10.18698/1812-3368-2017-3-124-134
- [8] Eliseeva E.A., Slynko L.E., Plakhotnaya O.N., et al. Kinetics of dissolution of oxides of cobalt Co_3O_4 and iron Fe_3O_4 in sulfuric acid. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], 2017, no. 8, pp. 19–23 (in Russ.).

Eliseeva E.A. — Cand. Sc. (Chem.), Assoc. Professor of Chemistry Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Plakhotnaya O.N. — Cand. Sc. (Chem.), Assoc. Professor of Chair of Analytical, Physical and Colloid Chemistry, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Trubetskaya ul. 8, str. 2, Moscow, 119991 Russian Federation).

Gorichev I.G. — Dr. Sc. (Chem.), Professor of Chair of General Chemistry, Moscow State University of Education (Malaya Pirogovskaya ul. 1/1, Moscow, 119991 Russian Federation).

Atanasyan T.K. — Cand. Sc. (Chem.), Assoc. Professor of Chair of General Chemistry, Moscow State University of Education (Malaya Pirogovskaya ul. 1/1, Moscow, 119991 Russian Federation).

Slynko L.E. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor of Chemistry Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Eliseeva E.A., Plakhotnaya O.N., Gorichev I.G., Atanasyan T.K., Slynko L.E. Kinetic of Cobalt and Copper Oxides Dissolution in Acidic Media Containing EDTA. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2018, no. 1, pp. 115–124 (in Russ.). DOI: 10.18698/1812-3368-2018-1-115-124

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
press@bmstu.ru www.baumanpress.ru

Подписано в печать 18.01.2018
Формат 70 × 108/16
Усл.-печ. л. 11,0

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
baumanprint@gmail.com