ISSN 0132 – 0890
www.rudmet.ru

черные металлы

Издается с 1961 года
(№ 1074)

6.2021

Тема номера: **Прокатка и термообработка (стр. 9–37)**

ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Издательский дом «Руда и Металлы»

№ 6 (1074), июнь 2021 г.

Издается с 1961 г.

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал по актуальным проблемам металлургии и машиностроения

Учредители:

Акционерное общество «Издательский дом «Руда и Металлы»

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Федеральное бюджетное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова»

При участии:

ПАО «ММК»
ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК»
Государственного Эрмитажа
Журнала «Stahl und Eisen»

Официальный информационный орган Федерального УМО «Технологии материалов»

Редакционный совет:

Председатель редакционного совета: О. Н. Сосковец
Главный редактор: В. М. Колокольцев
Первый зам. главного редактора: К. Л. Косырев
Зам. главного редактора: А. Г. Воробьев, Е. В. Цирульников
А. М. Беленький, В. Блек (Германия), Ю. Л. Бобарикин (Беларусь), О. И. Борискин, И. В. Буторина, Р. М. Валеев, Е. П. Волынкина, А. В. Выдрин, С. П. Галкин, Е. А. Голи-Оглу (Дания), Я. М. Гордон (Канада), В. Я. Дашевский, Д. Г. Еланский, Н. А. Зюбан, В. П. Иващенко (Украина), И. Е. Илларионов, Л. М. Капуткина, А. А. Казаков, А. П. Коликов, А. Г. Корчунов, А. В. Кушнарев, И. О. Леушин, В. А. Луценко (Украина), И. П. Мазур, Ю. Ю. Пиотровский, А. Н. Савенок (Беларусь), А. В. Серебряков, И. А. Султангузин, С. С. Ткаченко, А. Я. Травянов, Н. А. Чиченев, М. В. Чукин, П. Шеллер (Германия), Е. А. Яценко

Редакция:

Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников
Редактор Е. Ю. Рахманова

Издатель – АО «Издательский дом «Руда и Металлы»
Адрес издателя: 119049, Москва, Ленинский просп., 6, стр. 2, МИСиС, оф. 622

Адрес редакции:
- фактический: 119049, Москва, Ленинский проспект 6, стр. 2, МИСиС, оф. 617
- почтовый: 119049, Москва, а/я № 71

Телефон/факс: (495) 955-01-75
Эл. почта: chermet@rudmet.ru, tsirulnikov@rudmet.ru

www.rudmet.ru

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал по актуальным проблемам металлургии и машиностроения «Черные металлы» № 6 (1074), июнь 2021 г.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Свидетельство ПИ № ФС77-48681 от 28.02.2012 г.)

Товарный знак и название «Черные металлы» являются исключительной собственностью Издательского дома «Руда и Металлы»

Отпечатано с предоставленных готовых файлов в типографии «Канцлер»
150044, Россия, Ярославль, ул. Полушкина Роща, 16. стр. 66А.
Тел. (4852) 58-76-33

Дата выхода в свет: 30.06.2021. Формат 60×90/8.
Печ. л. 9. Офсетная печать. Бумага офсетная.

Тираж 1000 экз. Цена свободная

За достоверность рекламной информации ответственность несет рекламодатель
За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор
Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции
При перепечатке ссылка на «Черные металлы» обязательна
«Реклама» – материал публикуется на правах рекламы
Публикуемые материалы не обязательно отражают точку зрения редакции и редсовета журнала

ISSN 0132-0890

Подписные индексы:
12985 («Пресса России»)

© Оформление. АО «Издательский дом «Руда и Металлы», «Черные металлы», 2021
© Фото для обложки: Е.В. Цирульников

Подготовка сырьевых материалов

В. Ю. Голубев, И. У. Аубакирова, Д. А. Пантелеев, К. А. Шумилов. Исследование влияния антиобледенителя на смерзаемость железорудного концентрата мокрой магнитной сепарации . . . 4

Прокатка и термообработка

П. И. Полухин и его роль в создании научной школы обработки металлов давлением (к 110-й годовщине со дня рождения) . . . 9

Е. В. Ковалевич, Ф. А. Нуралиев, К. Л. Косырев, Н. С. Гущин. Исследование остаточных литейных напряжений в чугунных прокатных валках . . . 10

Е. А. Максимов, Р. Л. Шаталов. Математическая модель расчета параметров правки сортовых профилей на роликовой правильной машине . . . 14

Роману Львовичу Шаталову — 75 лет . . . 19

О. Б. Крючков, А. В. Крохалев, А. А. Белов, П. И. Маленко. Влияние расположения заготовок в камерных печах на время их нагрева и перепад температуры по сечению при холодном и горячем посаде . . . 20

Производство труб

А. С. Алещенко, Нгуен Куанг. Исследование износа цилиндрических оправок раскатного стана винтовой прокатки . . . 27

В. В. Науменко, А. В. Мунтин, Е. С. Мурсенков, С. В. Ковтунов. Обеспечение стойкости против водородного растрескивания труб, сваренных токами высокой частоты из конструкционной стали . . . 32

Металловедение и металлография

А. З. Исагулов, Св. В. Квон, В. Ю. Куликов, А. А. Алина. Влияние состава раскислителя на микроструктуру и прочностные свойства стали 30ХН2МА . . . 38

С. И. Губенко, Э. В. Парусов, О. В. Парусов. Роль границ «включение — матрица» в процессах разрушения сталей . . . 42

Химические технологии

И. В. Скворцова, Е. А. Елисеева, А. И. Карнюшкин, В. С. Болдырев. Влияние сульфат- и нитрат-ионов на кинетику растворения гидроксида хрома (III) α-CrOOH . . . 48

Экология и рециклинг

О. В. Голубев, Г. В. Торохов, Д. А. Ермаков, П. И. Черноусов. Анализ возможностей рециклинга вышедших из употребления стальных изделий путем их перекатки . . . 53

С. В. Ващенко, А. Ю. Худяков, К. В. Баюл, Ю. С. Семенов. Метод прогнозирования прочностных характеристик брикетов, полученных из сухих мелкофракционных материалов . . . 59

Машиностроительные технологии

В. Д. Кухарь, В. А. Коротков, С. С. Яковлев, А. А. Шишкина. Формообразование сетки спиральных клиновых выступов на внутренней поверхности стальной оболочки локальным пластическим деформированием . . . 65

Рецензия на монографию С. В. Давыдова «Диаграмма состояния сплавов системы железо – карбид ε-Fe_2C . . . 69

Геннадий Николаевич Еланский . . . 71

Журнал «Черные металлы» по решению ВАК Министерства образования и науки РФ включен в **«Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук»** по металлургии

Журнал «Черные металлы» включен в Международную базу данных Chemical Abstracts Service

Журнал «Черные металлы» включен в **Международную базу данных Scopus, II квартиль (2020)**

(по версии SCIMAGO)

УДК 546.76

Влияние сульфат- и нитрат-ионов на кинетику растворения гидроксида хрома (III) α-CrOOH

И. В. Скворцова, доцент кафедры химии[1], канд. хим. наук, эл. почта: i_dorovskih@mail.ru
Е. А. Елисеева, доцент кафедры химии[2], канд. хим. наук, эл. почта: yakusheva@bmstu.ru
А. И. Карнюшкин, доцент кафедры химии[2], канд. техн. наук, эл. почта: him_expert@mail.ru
В. С. Болдырев, доцент кафедры химии, ведущий инженер инжинирингового центра «Автоматика и робототехника»[2], канд. техн. наук, эл. почта: boldyrev.v.s@bmstu.ru
[1]Омский государственный педагогический университет, Омск, Россия.
[2]МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия.

Хром входит в состав многих легированных сталей и износостойких композиционных электрохимических покрытий. Пленки хрома используются в качестве укрепляющих покрытий металлоизделий и режущего инструмента в электронной технике. Сплавы хрома применяются в промышленности для изготовления деталей машин и механизмов, предназначенных для эксплуатации в экстремальных условиях, для формирования прочных покрытий на металлических и других поверхностях. Поэтому актуален вопрос оптимизации технологий травления, выщелачивания и обогащения хромсодержащих руд. Рассмотрены кинетические особенности растворения гидроксида хрома (III) и предложен оптимальный механизм процессов растворения гидроксида хрома (III) α-CrOOH в присутствии различных ионов (сульфат и нитрат) в кислых средах.
Рассмотрено влияние различных ионов минеральных кислот на кинетику растворения гидроксида хрома (III) α-CrOOH в кислых средах. Предложен механизм растворения гидроксида хрома (III) α-CrOOH с позиций различных модельных представлений. Проведен анализ данных по влиянию природы минеральных кислот на скорость растворения гидроксида хрома (III) α-CrOOH. Для расчета эмпирических значений кинетических параметров использованы методы регрессионного анализа. С целью выбора технологических режимов селективного извлечения ценных металлов из сырья рассмотрены следующие параметры: С-кислоты и анионов, Т, pH.
Ключевые слова: гидроксид хрома (III) α-CrOOH, кинетика растворения, доля растворенного вещества, модель цепного механизма.
DOI: 10.17580/chm.2021.06.09

Введение

Существуют различные модели растворения частиц порошкообразных гидроксидов в кислотной среде.

В гетерогенном процессе скорость растворения порошкообразных образцов зависит от поверхности, которая изменяется во времени. Для выбора кинетических моделей растворения используют уравнения химической и электрохимической кинетики, что наблюдается, например, при протекании коррозионных процессов.

Имеющиеся классические представления о растворении оксидов *d*-металлов не позволяют объяснить ряд особенностей растворения гидроксида хрома (III) α-CrOOH в кислых средах [1–5].

Экспериментальные исследования по влиянию природы неорганических кислот на скорость гетерогенной реакции взаимодействия гидроксида хрома (III) α-CrOOH с электролитом и анализ кинетических кривых позволяют объяснить процессы, протекающие на поверхности гидроксидов, и предоставить модели топохимических реакций [6–8].

Научная новизна работы заключается в установлении закономерностей изменения скорости растворения гидроксида хрома (III) α-CrOOH от природы растворителя и анионного состава. С позиций различных модельных представлений рассчитали основные кинетические параметры с использованием методов регрессионного анализа. Выведено эмпирическое уравнение зависимости скорости растворения гидроксида хрома (III) α-CrOOH от различных параметров: концентрацией С-кислоты и анионов, температура *T*, pH.

Целью работы является исследование влияния анионов минеральных кислот (SO_4^{2-}, NO_3^-) на скорость растворения гидроксида хрома (III) α-CrOOH в кислых средах и моделирование процесса растворения.

Материалы и методика исследований

Навеску гидроксида хрома (III) α-CrOOH массой 2 г вводили в термостатируемый реактор, содержащий 1,000±0,005 л водного раствора серной, азотной, щавелевой и фосфорной кислот заданной концентрации. Растворение оксидов проводили при непрерывном перемешивании смеси магнитной мешалкой (частота вращения 500–550 об/мин) и при различных температурах (от 298 К до 343 К). Выбирали такой режим перемешивания, чтобы снять диффузионные затруднения. Регулирование pH осуществляли прибавлением к раствору соответствующих кислот. Суммарную концентрацию ионов Cr^{3+} в пробе определяли спектрофотометрическим методом при помощи дифенилкарбозида [8].

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования использовали порошкообразный гидроксид хрома (III) α-CrOOH квалификации «хч» с частицами размером 80–100 мкм. Для идентификации образцов гидроксидов применяли методы рентгенофазового анализа (РФА) (дифрактометр HZG4/A2, метод порошка, Cu-α-излучение), термогравиметрии (дериватограф PH Q-1500D), инфракрасной (ИК) и комбинационного рассеяния (КР) спектроскопии (спектрометры ИК-16, двухлучевой

© Скворцова И. В., Елисеева Е. А., Карнюшкин А. И., Болдырев В. С., 2021

инфракрасный спектрометр UR-20), масс-спектроскопии (масс-спектрометр МИ-1201). В ИК-области наблюдались 6 полос, в КР — 7 полос. Гидроксид α-CrOOH дает симметрию кристалла D_{3d}^6. Масс-спектроскопия α-CrOOH указывает на то, что в паровой фазе появляются частицы CrO_2^+, CrO^+, Cr^+, O^+ и др. Поверхность определяли по методу БЭТ* на адсорбционном приборе Sorpti-1750 по адсорбции стандартного газа азота при температуре 77,4 К, которая составила для α-CrOOH 160 м^2/г. Для исследований выделяли фракцию с одинаковым размером частиц $R = 90\pm10$ мкм.

Результаты исследования и расчеты

Полученные экспериментальные данные по влиянию концентрации анионов на кинетику растворения гидроксида α-CrOOH представляли в координатах: зависимость доли растворенного оксида α от времени *t* при постоянных значениях pH и температуры. Значение величины αопределяли по формуле

$$\alpha = \frac{A_\tau}{A_\infty} = \frac{C_\tau}{C_\infty}, \quad (1)$$

где A_τ — оптическая плотность раствора в момент отбора пробы (τ); A_∞ — оптическая плотность при полном растворении оксида; C_τ — концентрация ионов хрома в момент отбора пробы (τ); C_∞ — концентрация ионов хрома при полном растворении оксида.

Анализ авторами полученных ранее данных по влиянию природы кислоты на скорость растворения гидроксида α-CrOOH показал, что значения скорости растворения уменьшаются в ряду: $W(H_2SO_4) > W(HNO_3) > W(H_2C_2O_4) > W(H_3PO_4)$, т. е. оксиды хрома (III) лучше растворяются в серной кислоте (**рис. 1**) [5]. Дальнейшее изучение влияния анионов проводили в сернокислой среде. При добавлении к раствору серной кислоты сульфат- и нитрат-ионов интенсивность процесса растворения оксидов возрастала. Кинетические кривые растворения гидроксида хрома (III) представлены на **рис. 2** и **3**.

Анализ данных показал, что с повышением концентрации анионов (SO_4^{2-}, NO_3^-) при постоянных pH и температуре доля растворенного оксида увеличивается.

Из представленных графиков не ясно, с какой скоростью идет процесс растворения, поэтому перед авторами стояла задача расчета скорости для количественного описания кинетических процессов. В гетерогенном процессе скорость растворения зависит от поверхности, которая изменяется во времени. Для расчета скорости растворения необходимо знать функцию, которая описывает изменение поверхности во времени.

Экспериментальные данные по зависимости доли растворенного гидроксида хрома α-CrOOH от приведенного времени $\tau/\tau_{0,5}$ при различных значениях pH, температуры и концентрации С серной кислоты H_2SO_4 приведены на **рис. 4**.

*Метод БЭТ (от англ. BETmethod) — метод математического описания физической адсорбции, предложенный Брунауэром, Эмметом и Теллером.

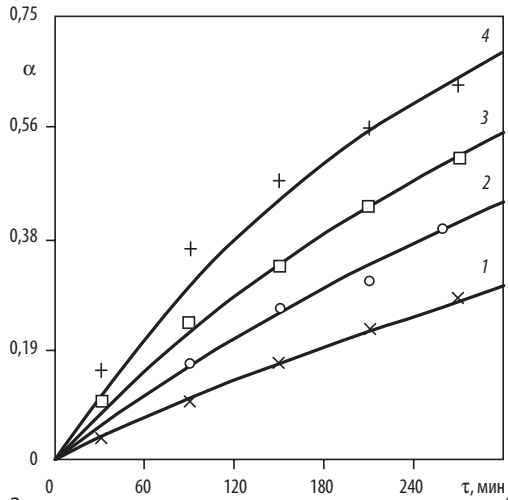

Рис. 1. Зависимость доли растворенного гидроксида хрома (III) α-CrOOH от времени в различных кислотах ($C_{кислоты}$ = 1 моль/л, *T* = 333 К):
1 — H_3PO_4; *2* — $H_2C_2O_4$; *3* — HNO_3; *4* — H_2SO_4
(точки — экспериментальные данные, линии — графическое решение уравнения цепного механизма)

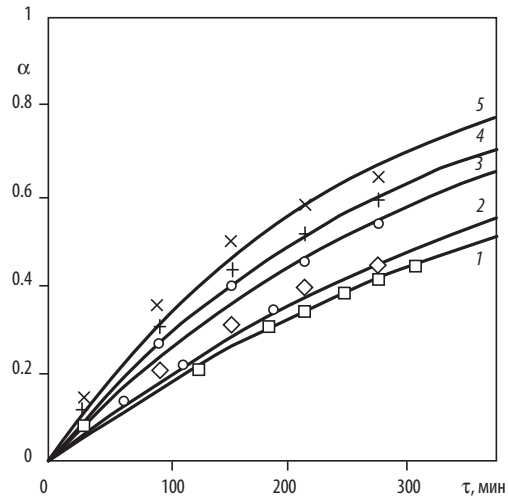

Рис. 2. Зависимость доли растворенного гидроксида хрома (III) α-CrOOH от времени в 0,4 М растворе кислоты H_2SO_4, *T* = 323 К, в присутствии SO_4^{2-} (моль/л):
1 — 0; *2* — 0,10; *3* — 0,20; *4* — 0,40; *5* — 0,80
(точки — экспериментальные данные, линии — графическое решение уравнения цепного механизма)

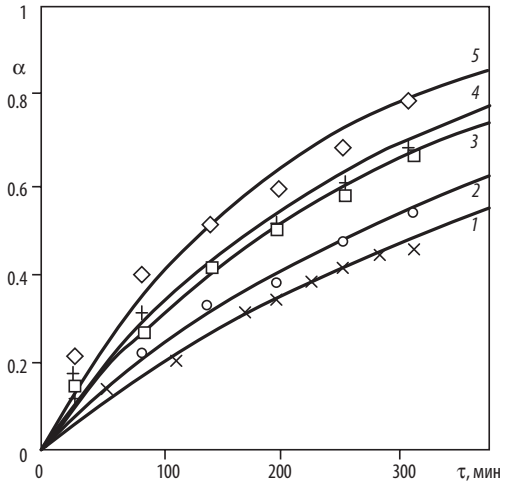

Рис 3. Зависимость доли растворенного гидроксида хрома (III) α-CrOOH от времени в 0,4 М растворе кислоты H_2SO_4, *T* = 323 К, в присутствии NO_3^- (моль/л):
1 — 0; *2* — 0,10; *3* — 0,20; *4* — 0,40; *5* — 0,80
(точки — экспериментальные данные, линии — графическое решение уравнения цепного механизма).

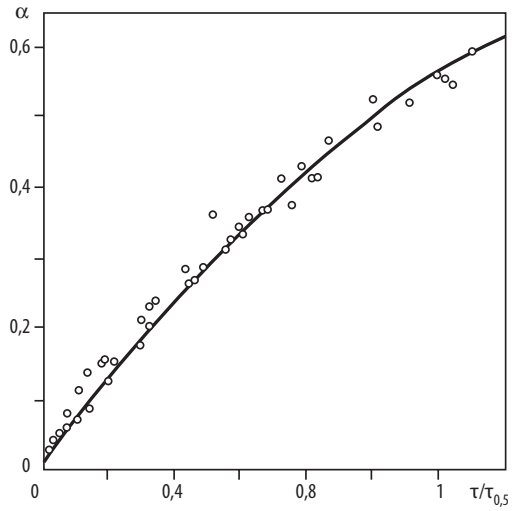

Рис. 4. Зависимость доли растворенного образца гидроксида хрома α-CrOOH от приведенного времени $\tau/\tau_{0,5}$ при различных значениях pH, *T*, C

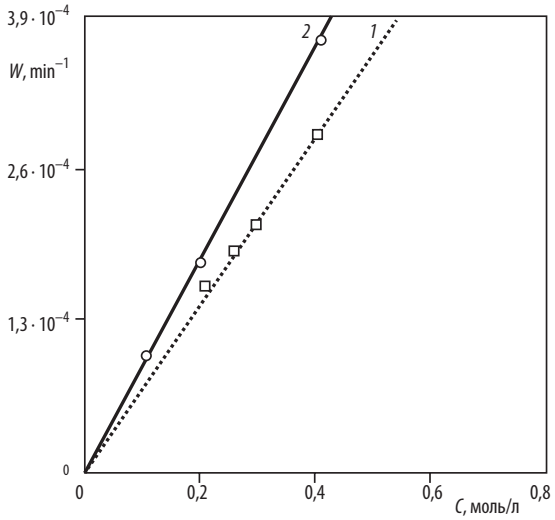

Рис. 5. Зависимость значения log*W* от концентрации С-анионов: *1* — SO_4^{2-}; *2* — NO_3^-

Из рис. 4 видно, что экспериментальные зависимости α-$\tau/\tau_{0,5}$ по растворению гидроксида хрома (III) α-CrOOH ложатся на одну кривую. Инвариантность функции α-$\tau/\tau_{0,5}$ от различных параметров раствора указывает на единый механизм процесса растворения данных соединений. Данная кривая учитывает изменение поверхности оксида во времени.

Существуют несколько моделей, которые объясняют изменение суммарной скорости растворения оксида $\frac{\partial\alpha}{\partial\tau} = W \cdot f(\alpha)$, если на его поверхности возникают активные центры только на отдельных участках поверхности — дислокациях и других дефектных структурах (**таблица**). Моделирование проводили при помощи стандартной программы MathCAD. При расчетах использовали две модели, выбранные по критерию Фишера (квадрат отклонения должен быть минимальным $S = (\alpha_{опыт} - \alpha_{теор})^2 = 10^{-10} - 10^{-13}$): модель цепного механизма; модель сжимающейся сферы.

Модель цепного механизма предполагает, что растворение оксида заключается в разветвлении активных участков растворения во времени.

Зависимость постоянной скорости растворения от температуры, концентрации анионов и кислоты, рассчитанных по уравнению (2)

Экспериментальные условия	W, 10^{-4} мин$^{-1}$	A, частиц$^{-1}$
1 M H_2SO_4, α-CrOOH		
T = 298 K	1,9	1,6
T = 313 K	2,6	5,6
T = 333 K	2,9	1,6
1 M H_2SO_4, Cr_2O_3		
T = 298 K	2,2	1,7
T = 313 K	3,2	2,3
T = 333 K	2,1	0,6
0,4 M H_2SO_4, α-CrOOH, T = 328 K		
$[SO_4^{2-}]$ = 0,4 моль/л	1,6	13,1
$[SO_4^{2-}]$ = 0,5 моль/л	1,9	21,8
$[SO_4^{2-}]$ = 0,6 моль/л	2,4	13,3
$[SO_4^{2-}]$ = 0,8 моль/л	2,9	13,9
$[SO_4^{2-}]$ = 1,2 моль/л	4,4	9,1
0,4 M H_2SO_4, α-CrOOH, T = 328 K		
$[NO_3^-]$ = 0,01моль/л	0,1	8,0
$[NO_3^-]$ = 0,1 моль/л	1,0	6,0
$[NO_3^-]$ = 0,2 моль/л	1,8	5,0
$[NO_3^-]$ = 0,4 моль/л	3,8	2,0

Уравнение модели цепного механизма:

$$\alpha = 1 - \exp\left[-A \cdot sh(W \cdot \tau)\right],\ \frac{\partial\alpha}{\partial\tau} = W(1-\alpha)\sqrt{A^2 - \ln^2(1-\alpha)}, \quad (2)$$

где *A* — константа, пропорциональная среднему числу активных центров (числу дефектов кристаллической решетки) на поверхности одной частицы оксида хрома (III); *W* — постоянная скорости растворения.

Модель сжимающейся сферы предполагает, что растворение оксида происходит с учетом фрактальной размерности. Уравнение модели сжимающегося объема с фрактальной размерностью *d*:

$$\alpha = 1 - \left[1 - (W \cdot \tau)\right]^d,\ \frac{\partial\alpha}{\partial\tau} = dW(1-\alpha)^{(d-1)/d}. \quad (3)$$

Для количественного описания влияния различных параметров на скорость растворения используем уравнение (2), так как оно лучше описывает кинетические кривые. Выбрав методику расчета, получаем значения скорости процесса растворения и рассчитываем кинетические параметры.

На **рис. 5** представлена полученная зависимость logW от концентрации анионов серной (SO_4^{2-}) и азотной (NO_3^-) кислот.

Влияние природы и концентрации кислот, pH, температуры рассмотрено авторами ранее в работах [1, 3–5].

Для расчета эмпирических значений кинетических параметров *A* и *W* (см. таблицу) использовали методы регрессионного анализа, представленного программами MathCAD.

Как видно из рис. 5 и таблицы, нитрат-ионы $[NO_3^-]$ в растворе серной кислоты H_2SO_4 сильнее ускоряют процесс растворения, чем сульфат-ионы $[SO_4^{2-}]$. Ускоряющее действие нитрат-ионов связано с совместной адсорбцией нитрат-

и сульфат-ионов, а также ростом окислительно-восстановительного потенциала, что соответствует литературным данным [1, 3]. Порядки по анионам варьируют в диапазоне 0,2–0,8, минимальное значение порядка соответствует ионам NO_3^-, максимальное — ионам SO_4^{2-}.

Учитывая адсорбционный механизм влияния анионов, можно найти зависимость удельной скорости растворения гидроксида хрома α-CrOOH от концентрации анионов, которая выражается уравнением

$$W = W_{01} \cdot \frac{[A^-]}{[A^-] + K_1}, \quad (4)$$

где W_{01} = 2,75 мин$^{-1}$; K_1 = 0,05 моль/л.

Вид уравнения (4) подтверждает, что изотермы адсорбции хорошо описываются уравнением Ленгмюра. Результаты соответствуют данным, полученным на других оксидах в большинстве работ [9–15].

На основании полученных данных можно сделать вывод, что добавление в электролит анионов ускоряет процесс растворения гидрокидов металлов. Выведено эмпирическое уравнение, которое показывает зависимость скорости растворения гидроксида хрома (III) α-CrOOH от различных параметров (концентраций кислоты и анионов, температуры T, pH):

$$W = W^0 \left(\frac{\left[H^+\right]}{\left[H^+\right] + K_1} \right) \left(\frac{\left[NO_3^-\right]}{\left[NO_3^-\right] + K_2} \right) \left(\frac{\left[SO_4^{2-}\right]}{\left[SO_4^{2-}\right] + K_3} \right) \cdot \exp\left(-\frac{E_{ак}}{RT} \right), \quad (5)$$

где K_1, K_2, K_3 — константы адсорбционных равновесий [H^+]; [NO_3^-], [SO_4^{2-}] — концентрации ионов в растворе; $E_{ак}$ — эффективная энергия активации.

Заключение

1. При постоянных значениях pH и температуры *T* доля растворенного гидроксида хрома (III) α-CrOOH увеличивается при повышении концентрации анионов SO_4^{2-}, NO_3^- в растворе.

2. Добавление нитрат-ионов в раствор серной кислоты повышает эффективность растворения гидроксидов хрома (III) α-CrOOH.

3. Выведено эмпирическое уравнение, которое описывает зависимость скорости растворения гидрооксидов хрома (III) α-CrOOH от температуры, концентрации анионов и pH.

4. Полученные результаты могут быть использованы для создания новых технологий выщелачивания и травления окалины с поверхности хромсодержащих сплавов.

5. Анализ кинетики и механизма взаимодействия гидроксидов хрома α-CrOOH с растворами электролитов и различных добавок позволяет рационально выбрать и оптимизировать технологические режимы процессов растворения. ЧМ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Атанасян Т. К., Горичев И. Г., Якушева Е. А., Елисеева Е. А.* Неорганическая химия. Часть I. Поверхностные явления на границе оксид/электролит в кислых средах. — М. : Прометей, 2013. — 166 с.
2. *Дятлова Н. М., Горичев И. Г.* и др. Влияние комплексонов на кинетику растворения оксидов металлов // Координационная химия. 1986. Т. 12. № 1. С. 3–27.
3. *Горичев И. Г., Батраков В. В., Шаплыгин И. С.* и др. Комплексообразование на поверхности гидроксидов железа. Методы изучения и модельное описание кислотно-основных свойств на границе раздела оксид железа/электролит // Неорганические материалы. 1994. Т. 30. № 10. С. 1203–1218.
4. *Киприянов Н. А., Горичев И. Г.* Моделирование выщелачивания с использованием кислотно-основных свойств окисленных минералов в гидрометаллургии // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Инженерные исследования. 2008. № 3. С. 73–78.
5. *Blesa M. A., Weisz A. D., Morando P. J., Salfity J. A., Magaz G. E., Regazzoni A. E.* The Interaction of Metal Oxide Surfaces with Complexing Agent dissolved in Water // Coord. Chem. Rev. 2000. Vol. 196. P. 31–63.
6. *Роде Т. В.* Кислородные соединения хрома и хромовые катализаторы. — М. : АН СССР, 1962. — 279 с.
7. *Родионова Н. А., Шмидко И. Н., Родионов Е. В.* Особенности получения пленок хрома, окиси хрома и оксикарбида хрома по МОС-технологии // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 3-2. С. 63–67.
8. *Марченко З.* Фотометрическое определение элементов. — М. : Мир, 1971. — 502 с.
9. *Доровских И. В., Скворцова И. В., Горичев И. Г., Шелонцев В. А.* Кинетика и механизм растворения оксидов хрома (III) в кислых средах : монография. — Омск : Изд-во ОмГПУ, 2006. — 74 с.
10. *Елисеева Е. А., Березина С. Л., Горичев И. Г., Атанасян Т. К., Горячева В. Н.* Влияние сульфат-ионов на кинетику растворения оксида кобальта Co_3O_4 // Фундаментальные исследования. 2018. № 8. С. 7–11.
11. *Черноусенко Е. В., Митрофанова Г. В., Вишнякова И. Н., Каменева Ю. С.* Флотационный и магнитные методы для выделения цветных металлов из бедного техногенного сырья // Цветные металлы. 2019. № 2. С. 11–16.
12. *Аверина Ю. М., Калякина Г. Е., Меньшиков В. В., Капустин Ю. И., Болдырев В. С.* Проектирование процессов нейтрализации хромо- и цианосодержащих сточных вод на примере гальванического производства // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2019. № 3. С. 70–80.
13. *Zhigang W., Lingxue K., Jin B., Zefeng G.* Dissolution of Cr_2O_3 into Coal Slag and Its Impact on Slag Flow Properties // Energy & Fuels. 2020. Vol. 34, Iss. 10. P. 11987–11997.
14. *Конышева Е. Ю.* Влияние оксида хрома на электропроводность CEO.9GD0.102-электролита в твердооксидных топливных элементах // Электрохимия. 2018. Т. 54. № 6. С. 544–553.
15. *Zydorczak B., May P. M., Meyrick D. P.* et al. Dissolution of Cr_2O_3(s) and the Behavior of Chromium in Concentrated NaOH Solutions // Industrial & Engineering Chemistry. 2012. Vol. 51, Iss. 51. P. 16537–16543.

"Chernye metally", 2021, No. 6, pp. 48–52
DOI: 10.17580/chm.2021.06.09

Influence of sulfate and nitrate ions on kinetics of dissolution of chromium (III) α-CrOOH hydroxide

Information about authors
I. V. Skvortsova[1], Cand. Chem., Associate Prof., Dept. of Chemistry, e-mail: i_dorovskih@mail.ru;
E. A. Eliseeva[2], Cand. Chem., Associate Prof., Dept. of Chemistry, e-mail: yakusheva@bmstu.ru;
A. I. Karnyushkin[2], Cand. Chem., Associate Prof., Dept. of Chemistry, e- mail: him_expert@mail.ru;
V. S. Boldyrev[2], Cand. Eng., Associate Prof., Leading Engineer of the Automation and Robotics Engineering Center, e-mail: boldyrev.v.s@bmstu.ru

[1]Omsk State Pedagogical University (Omsk, Russia)
[2]Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)

Abstract: Chrome is part of many alloyed steels and wear-resistant composite electrochemical coatings. Chromium films are used as firming coatings of metal products and cutting tools in electronic technology. Chromium alloys are used in industry for the manufacture of parts of machines and mechanisms intended for operation in extreme conditions for the formation of durable coatings on metal and other surfaces. Therefore, the question of optimizing the technologies of etching, leaching and enrichment of chromium-containing ores. The paper discusses the kinetic features of the dissolution of chromium hydroxide (III) and proposes the optimal mechanism for the dissolution of chromium hydroxide (III) α-CrOOH in the presence of various ions (sulfate and nitrate) in acidic environments.

The influence of various mineral acid ions on the kinetics of dissolution of chromium hydroxide (III) α-CrOOH in acidic environments is considered. The mechanism of dissolution of chromium hydroxide (III) α-CrOOH is proposed from the standpoint of various model representations. The most important direction of research in metallurgy is the selection of effective reagents and determining the main kinetic parameters of dissolution processes. An analysis of data on the influence of the nature of mineral acids on the rate of dissolution of chromium hydroxide (III) α-CrOOH is carried out. To calculate the empirical values of kinetic parameters, the methods of regression analysis were used. In order to select the technological regimes of the selective extraction of valuable metals from raw materials, the following parameters are considered (with acid and anions, T, pH).

Key words: chromium hydroxide (III) α-CrOOH, the kinetics of dissolution, the fraction of the dissolved substance, the model of the chain mechanism

References

1. Antanasyan T. K., Gorichev I. G, Yakusheva E. A., Eliseeva E. A. Inorganic chemistry. Part I. Surface phenomena at the oxide/electrolyte interface in acidic media. Moscow: Prometey, 2013. 166 p.
2. Dyatlova N. M., Gorichev I. G. et. al. Effect of complexones on kinetics of metal oxides dissolution. *Koordinatsionnaya khimiya*. 1986. Vol. 12. No. 1. pp. 3–27.
3. Gorichev I. G., Batrakov V. V., Shaplygin I. S. et. al. Complexation on the surface of iron hydroxides. Study methods and model description of acid-base properties at the iron oxide/electrolyte interface. *Neorganicheskie materialy*. 1994. Vol. 30. No. 10. pp. 1203–1218.
4. Kipriyanov N. A., Gorichev I. G. Leaching modeling using the acid-base properties of oxidized minerals in hydrometallurgy. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya "Inzhenernye issledovaniya"*. 2008. No. 3. pp. 73–78.
5. Blesa M. A., Weisz A. D., Morando P. J., Salfity J. A., Magaz G. E., Regazzoni A. E. The Interaction of Metal Oxide Surfaces with Complexing Agent dissolved in Water. *Coord. Chem. Rev*. 2000. Vol. 196. pp. 31–63.
6. Rode T. V. Oxygen chromium compounds and chromium catalysts. Moscow: AN SSSR, 1962. 279 p.
7. Rodionova N. A., Shmidko I. N., Rodionov E. V. Features of obtaining films of chromium, chromium oxide and chromium oxycarbide using mos-technology. *Mezhdunarodny nauchno-issledovatelskiy zhurnal*. 2016. No. 3-2. pp. 63–67.
8. Marchenko Z. Photometric determination of elements. Moscow: Mir, 1971. 502 p.
9. Dorovskiy I. V., Skvortsova I. V., Gorichev I. G., Shelontsev V. A. Kinetics and mechanism of dissolution of chromium (III) oxides in acidic media: monograph. Omsk: Izdatelstvo OmGPU, 2006. 74 p.
10. Eliseeva E. A., Berezina S. L., Gorichev I. G., Atanasyan T. K., Goryachev V. N. Influence of sulfate ions on kinetics of dissolution of cobalt oxide Co_3O_4. *Fundamentalnye issledovaniya*. 2018. No. 8. pp. 7–11.
11. Chernousenko E. V., Mitrofanova G. V., Vishnyakova I. N., Kameneva Yu. S. Flotation and magnetic methods to recover non-ferrous metals from low grade technogenic raw materials. *Tsvetnye Metally*. 2019. No. 2. pp. 11–16.
12. Averina Y. M., Kalyakina G. E., Menshikov V. V., Kapustin Y. I., Boldyrev V. S. Neutralisation process design for electroplating industry wastewater containing chromium and cyanides. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences.* 2019. No. 3. pp. 70–80. DOI: 10.18698/1812-3368-2019-3-70-80
13. Zhigang W., Lingxue K., Jin B., Zefeng G. Dissolution of Cr_2O_3 into Coal Slag and Its Impact on Slag Flow Properties. *Energy & Fuels*. 2020. Vol. 34. Iss. 10. pp. 11987–11997.
14. Konysheva E. Yu. Effect of chromium oxide on electrical conductivity of CE0.9GD0.102 – electrolyte in solid oxide fuel cells. *Elektrokhimiya*. 2018. Vol. 54. No. 6. pp. 544–553.
15. Zydorczak B., May P. M., Meyrick D. P. et al. Dissolution of Cr_2O_3(s) and the Behavior of Chromium in Concentrated NaOH Solutions. *Industrial & Engineering Chemistry*. 2012. Vol. 51. Iss. 51. pp. 16537–16543.

Бигеев В. А., Столяров А. М., Валиахметов А. Х.

Металлургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе

Учебное пособие

В учебном пособии рассмотрены металлургические технологии, используемые в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе на примере ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» и металлургической компании «ММК-Metalurji».
В работе представлены основное оборудование и технология для выплавки полупродукта в мощных дуговых сталеплавильных печах переменного тока вместимостью 180 и 250 т с альтернативной энергетикой, доводки металла на агрегатах ковшевой обработки: агрегате «ковш-печь» и вакуумных установках камерного и циркуляционного типа. Рассмотрено устройство и работа сухой газоочистки ДСП, уделено внимание способам повышения стойкости футеровки сталеразливочного ковша.
В пособии подробно рассмотрены оборудование и технология для непрерывной разливки стали с получением сортовой и слябовой заготовок, а также тонких слябов и толстого горячекатаного листа в составе литейнопрокатного комплекса. Широко представлены данные по оценке качества получаемых непрерывнолитых заготовок.
Пособие предназначено для изучения дисциплины «Металлургические технологии» обучающимися по направлению подготовки 150400.62 «Металлургия» по профилю «Металлургия черных металлов».

По вопросам приобретения книги обращайтесь:
119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6.,
стр. 2, НИТУ МИСИС, "А"-корпус, 6-й этаж, офис 624.
Эл. почта: books@rudmet.ru
Тел: (495) 955-01-75

«Руда и Металлы»
Издательский дом

Реклама