

На правах рукописи

Коновалов Дмитрий Владимирович

**Разработка процесса получения оксида цинка
с помощью переменного тока промышленной частоты**

Специальность:

05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

Томск – 2002

Работа выполнена на кафедре общей химической технологии химико-технологического факультета Томского политехнического университета.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Косинцев В. И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Волокитин Г. Г.
кандидат химических наук, доцент
Дмитриенко В. П.

Ведущая организация – **Сибирский химический комбинат**, г. Томск

Защита состоится « 24 » декабря 2002 года в 14⁰⁰ на заседании диссертационного Совета Д 212.269.08 при Томском политехническом университете по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, ТПУ, 2-й корпус, ауд. 117.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета.

Автореферат разослан « ___ » ноября 2002 г.

Учёный секретарь
диссертационного Совета,
кандидат технических наук, доцент

Петровская Т. С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современный этап развития химической промышленности определяется проблемой повышения эффективности производства, от решения которой зависят темпы реализации научно-технического прогресса в данной отрасли. В этом плане одно из центральных звеньев занимает проблема малотоннажной химии, определяющей ускорение научно-технического прогресса и повышение качества продукции. Это относится и к производству оксидов металлов, в частности, оксида цинка, без использования, которых невозможно представить современную промышленность.

Существующие в мировой практике методы производства оксида цинка обладают рядом существенных недостатков, приводящих к получению продукта низкого качества, который не отличается достаточной чистотой из-за невысокого качества используемого сырья и характеризуется низкой активностью, поскольку не обладает развитой поверхностью, хотя наличие активной поверхности является одним из основных требований предъявляемых к оксидам, применяемым в тех или иных производствах.

Добиться улучшения качества оксида цинка позволяет лишь применение более совершенных и перспективных процессов, одним из которых является электрохимическое окисление.

Цель работы. Разработка методик процесса электрохимического окисления металлического цинка с помощью переменного тока промышленной частоты для получения активного оксида цинка.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- Выявить кинетические закономерности процесса окисления металлического цинка электролизом на переменном токе и на их основе разработать технологию производства оксида цинка;
- Установить влияние условий электролиза и температуры термообработки на фазовый состав продукта электрохимического окисления металлического цинка;

- Определить влияние условий электролиза и температуры термообработки на удельную поверхность и пористость синтезированного оксида цинка;
- Разработать методику расчёта основных параметров процесса электрохимического окисления металлического цинка.

Научная новизна.

- Впервые исследован метод электрохимического окисления цинка на переменном токе промышленной частоты, в электролите, содержащем хлорид натрия, обеспечивающий получение более чистого оксида цинка с развитой поверхностью.
- Установлены закономерности, заключающиеся в возрастании скорости окисления металлического цинка с увеличением плотности тока и температуры в интервале 5-20 кА/м² и 50-90 °С соответственно при постоянной концентрации хлорида натрия в электролите, равной 3 мас. %.
- Впервые установлены зависимости удельной поверхности, дисперсности и пористости оксида цинка, полученного электрохимическим методом на переменном токе промышленной частоты, от плотности тока в интервале 5-20 кА/м² и температуры термообработки. Показано, что величина удельной поверхности на 75 % выше, а эквивалентный диаметр частиц на 20 % ниже для оксида цинка, полученного электрохимическим методом, по сравнению с основными промышленными методами.

Практическая ценность.

- Разработана методика проведения эксперимента с использованием метода хроматографического анализа, позволяющего непрерывно определять скорость процесса окисления при любых изменениях параметров электролиза.
- Установлено, что уменьшение плотности тока в интервале 5-20 кА/м² приводит к увеличению удельной поверхности и пористости оксида цинка. Рекомендован температурный интервал прокаливания (250-600 °С) оксида цинка с целью сохранения его высокой удельной поверхности (20-35 м²/г) и пористости;

- Разработана методика расчёта основных параметров процесса электрохимического окисления металлического цинка;
- Получены исходные данные для проектирования аппаратурно-технологической схемы производства оксида цинка электрохимическим способом на переменном токе;
- Установлено, что применение метода электрохимического окисления на переменном токе, позволяет снизить содержание примесей, в частности кадмия, железа и меди, в оксиде цинка, по сравнению с традиционными методами;
- Создана экспериментальная установка электрохимического окисления металлического цинка, которая внедрена в учебный процесс.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на Научно-практической конференции «Химия и химическая технология на рубеже тысячелетий» (Томск 2000 г.), на Международной научно-практической конференции «Химия – XXI век: новые технологии, новые продукты» (Кемерово 2000 г.), на Всероссийской научно-технической конференции по технологии неорганических веществ (Казань 2001 г.).

Публикации. Основные результаты опубликованы в 6 работах, подана заявка на патент, заявке присвоен номер и дата приоритета.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, выводов, приложения и списка литературы, включающего 189 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

Работа изложена на 88 страницах машинописного текста, содержит 27 рисунков, 8 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность и целесообразность решаемых в работе задач, кратко изложены цель и сущность выполненных исследований.

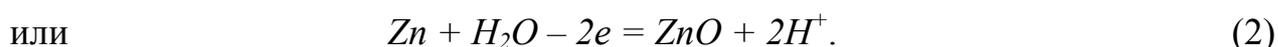
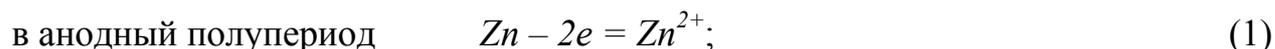
В **главе 1** рассмотрены физико-химические свойства оксида цинка, проведён анализ имеющихся литературных данных о существующих способах получения оксида цинка.

Обоснована перспективность электрохимических методов для получения качественного оксида цинка. На основе современных представлений показана возможность получения оксида цинка электрохимическим способом на переменном токе. Определены цель и основные задачи работы.

Глава 2 посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию факторов, влияющих на процесс электрохимического разрушения цинковых электродов под действием переменного тока с образованием оксида цинка. Среди многих факторов, влияющих на процесс, наибольшее влияние оказывают плотность переменного тока, температура и состав электролита.

Исследование кинетики процесса получения фазовых оксидов цинка электролизом на переменном токе проводилось по разработанной нами оригинальной методике. Она позволяет определить скорость разрушения цинка при любых изменениях параметров процесса электролиза.

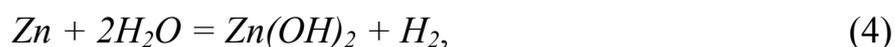
Возможные реакции процесса окисления цинка на переменном токе отличаются от постоянноточковых процессов тем, что электроды меняют свою полярность с заданной частотой (в данном случае с частотой, равной 50 Гц). На одном и том же электроде протекают процессы окисления и восстановления. Так как исходный электролит, представляющий собой раствор солей, вводимых для обеспечения электропроводности и электрохимически неспособных реагировать на электродах, имеет рН близкое к нейтральной среде, то на цинковых электродах протекают следующие реакции:



В катодный полупериод возможно протекание только одной реакции – восстановление водорода из воды:



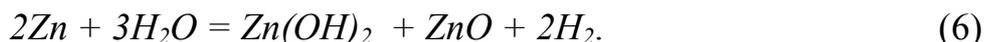
Тогда суммарный процесс (реакции 1 и 3) выглядит следующим образом:



а с учетом реакций 2 и 3 суммарный процесс описывается уравнением:



Следовательно, в результате электролиза должно происходить выделение водорода и образование смеси оксида и гидроксида цинка. Соотношение этих веществ в конечном продукте определяется выходом по току ZnO и Zn(OH)₂ в реакциях 2 и 4, или в суммарном процессе:



При этом гидроксид цинка образуется в приэлектродном слое, а оксид на поверхности электрода.

Количество выделившегося водорода, которое как следует из уравнений, эквивалентно количеству цинка, перешедшего в оксид и гидроксид, является характеристикой, удобной для исследования процесса окисления металлического цинка. Используя газохроматографический метод для определения количественного содержания выделившегося водорода, можно наблюдать динамику процесса электрохимического окисления.

Исследования влияния плотности переменного тока, температуры, состава и концентрации электролита на скорость окисления цинкового электрода проводились на экспериментальной лабораторной установке, представленной на рис. 1.

Принцип действия установки заключался в следующем, цинковые электроды помещались в герметичную ячейку с электролитом и подключались к измерительно-управляющей цепи. В ячейку подавался азот, с необходимым расходом, который являлся носителем газообразных продуктов к детектору хроматографа. Для поддержания заданной температуры ячейка помещалась в термостат. Через равные промежутки времени в течение всего опыта анализировались пробы газа из ячейки. По полученным хроматограммам рассчитывалось содержание водорода в газе.

Расчёт количества выделившегося водорода в *i*-й отрезок времени проводился по следующей формуле:

$$m_{\text{H}_2} = G_2 \cdot n_{\text{H}_2} \cdot \rho_{\text{H}_2}^t \cdot \tau_i, \quad (7)$$

где m_{iH_2} – масса выделившегося водорода за i -й отрезок времени, кг; G_2 – общий расход газа, м³/с; n_{H_2} – относительное содержание водорода в газе; $\rho_{H_2}^t$ – плотность водорода при температуре газа и атмосферном давлении, кг/м³; τ_i – интервал времени, с.

Рис. 1. Схема экспериментальной установки

1 – измерительно-управляющая цепь; 2 – прибор контроля и записи температуры; 3 – термопара; 4 – цинковые электроды; 5 – электрохимическая ячейка; 6 – термостат; 7 – вентиль; 8 – конденсатор; 9 – осушающая колонка; 10 – термостат колонок хроматографа; 11 – КСП-4; 12 – пенный расходомер.

Масса прореагировавшего цинка определялась по выражению:

$$m_i^{Zn} = \frac{M_{Zn}}{M_{H_2}} \cdot m_{iH_2}, \quad (8)$$

где M_{Zn} , M_{H_2} – атомные массы цинка и водорода; m_{iH_2} – масса выделившегося водорода, кг.

Скорость процесса окисления цинка рассчитывалась по количеству прореагировавшего металла в единицу времени, отнесённого к единице поверхности:

$$q = \frac{m_{Zn}}{S \cdot \tau}, \quad (9)$$

где m_{Zn} – масса прореагировавшего цинка, кг; S – рабочая поверхность электродов, м²; τ – время процесса, ч.

Важную роль в процессе окисления металлического цинка играет электролит, правильный выбор которого является одним из определяющих факторов проведения процесса. На основании сформулированных требований, изучив литературные данные, термодинамические возможности и химические свойства реагентов предложено использовать в качестве электролита растворы солей Na₂CO₃ и NaCl, так как они наиболее полно удовлетворяют требованиям, предъявляемым к электролитам.

Для того чтобы экспериментально определить влияние концентрации этих солей в электролите на скорость разрушения цинка, в условиях электролиза на переменном токе, был поставлен ряд опытов при параметрах электролиза: плотность тока 20 кА/м² и температура электролита 90 °С. Результаты экспериментов представлены на рис. 2.

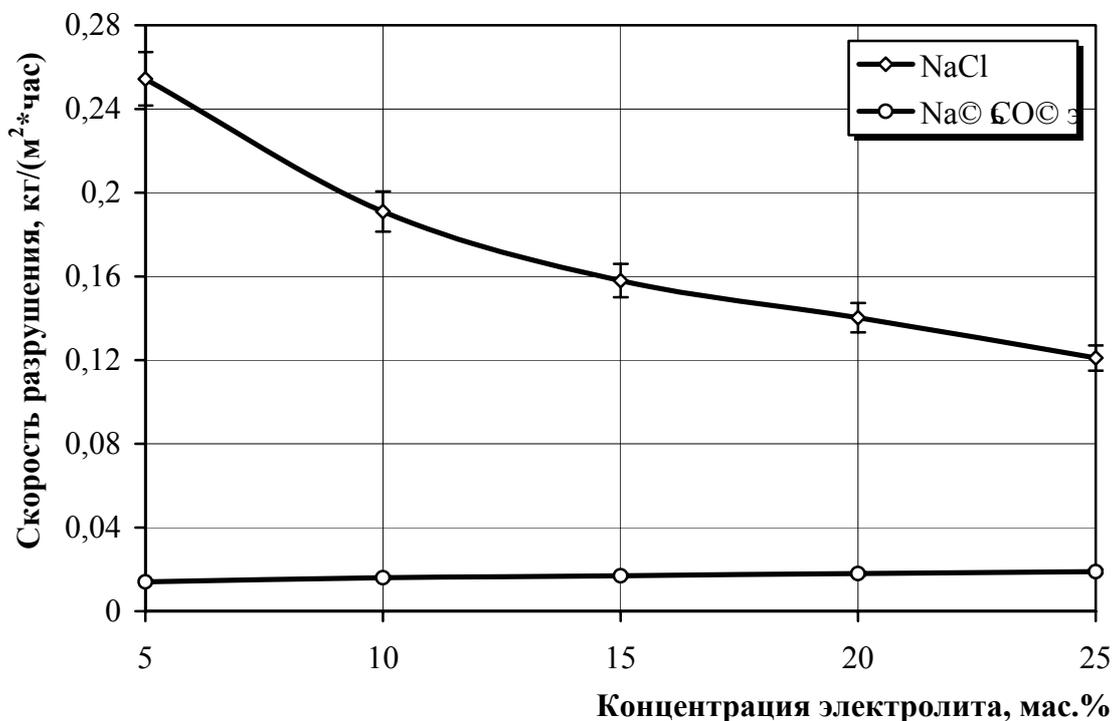


Рис. 2. Зависимости скорости разрушения цинка от концентрации Na₂CO₃ и NaCl в электролите при плотности тока 20 кА/м² и температуре электролита 90 °С

Опираясь на результаты проведённых экспериментов, а также, принимая во внимание исследования по окислению Al и Pb на переменном токе, проведённые нами ранее, показано, что наиболее целесообразно с технологической и экономической точки зрения для синтеза оксида цинка использовать раствор NaCl, как наиболее сильный депассиватор.

Для того чтобы окончательно определиться с выбором электролита были проведены эксперименты в растворах хлорида натрия различных концентраций, при следующих условиях: плотность переменного синусоидального тока 5-20 кА/м², температура электролиза 90 °С. Интервал плотностей тока обуславливается тем, что при плотности тока ниже 5 кА/м² скорость процесса низкая и не представляет практического интереса; при плотности тока выше 20 кА/м² происходит интенсивный разогрев электролита и его выкипание, что приводит к нарушению стабильного режима работы установки. Полученные результаты представлены на рис. 3.

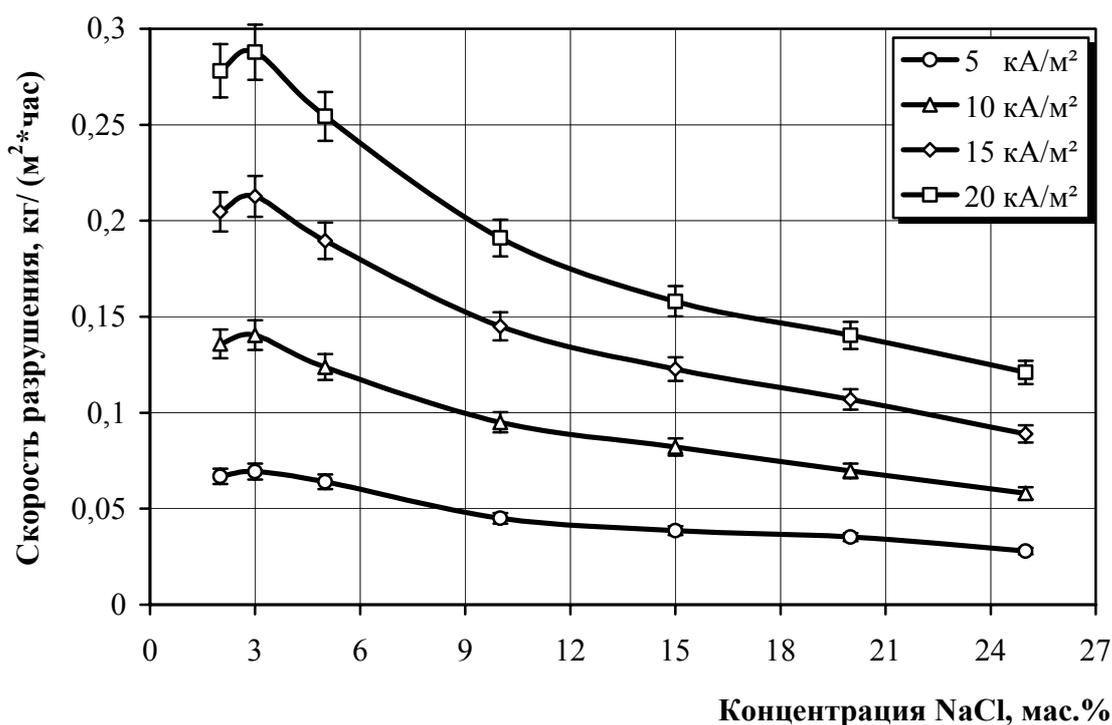


Рис. 3. Зависимости скорости разрушения цинка от концентрации электролита при различных плотностях тока и температуре 90 °С

Из рис. 3 видно, что максимальная скорость разрушения цинковых электродов достигается при концентрации хлорида натрия, равной 3 мас.%. С увеличением кон-

центрации электролита скорость уменьшается при всех значениях плотности переменного тока.

Проведённые детальные исследования позволили получить графические зависимости скорости окисления цинка от плотности тока при температурах электролита 50-90 °С и концентрации NaCl равной 3 мас.%, которые представлены на рис. 4.

Интервал температур обуславливается тем, что при температурах ниже 50 °С скорость процесса низкая, а выше 90 °С происходит сильный разогрев электролита и его интенсивное испарение.

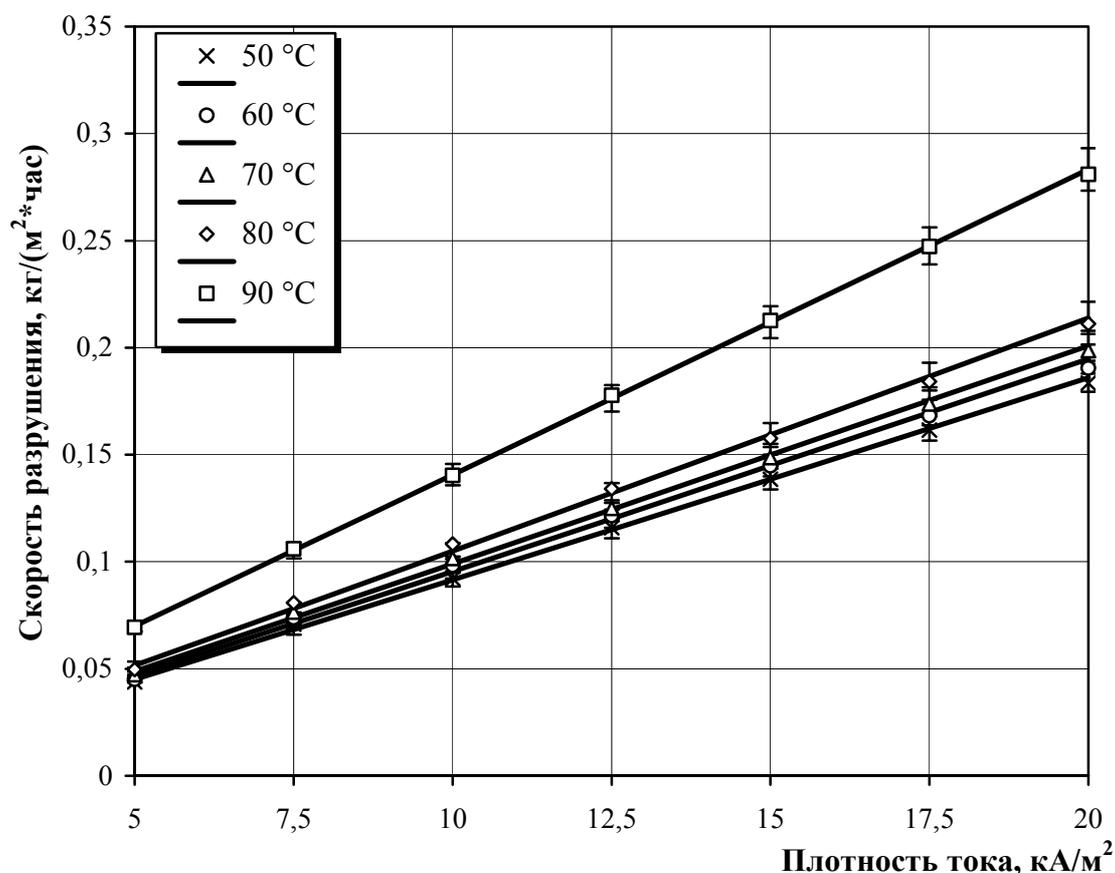


Рис. 4. Зависимости скорости разрушения цинка от плотности тока при различных температурах и концентрации хлорида натрия 3 мас.%

Из рис. 4 видно, что скорость разрушения цинка возрастает с увеличением плотности тока. В интервале 50-80 °С она слабо зависит от температуры, но при достижении 90 °С наблюдается существенное увеличение во всём исследуемом интервале плотностей тока. Последний был выбран исходя из целесообразности осу-

ществления технологического процесса: при плотностях тока ниже 5 кА/м^2 скорость разрушения цинка очень низка и не представляет промышленного интереса, а выше 20 кА/м^2 происходит интенсивный разогрев электролита, что усложняет поддержание требуемого температурного режима, затрудняя проведение исследований. Все кривые имеют зависимость близкую к линейной.

Полученные графические зависимости можно описать следующим уравнением:

$$q = q_0 \cdot e^{\left(\frac{b}{i+a}\right)}, \quad (10)$$

где i – плотность переменного тока, кА/м^2 ; q_0 , b , a – коэффициенты отражающие в неявном виде влияние температуры и изменение состояния поверхности электродов.

Сопоставление расчётных данных с экспериментальными показало, что уравнение (10) применимо для математического расчёта процесса электрохимического окисления металлического цинка на переменном токе промышленной частоты, так как учитывает основные параметры процесса и имеет незначительную погрешность относительно эксперимента.

Глава 3 посвящена исследованию состава и качества продукта электролиза металлического цинка. Синтезированные в ходе электрохимических реакций, отмытые от электролита и высушенные продукты, подвергались рентгенофазовому анализу (**РФА**) на приборе ДРОН-3М. Результаты показывают, что независимо от параметров электролиза сухие продукты представляют собой ZnO . Однако, в соответствии с уравнением (6) в составе продукта электролиза кроме оксида цинка присутствует и гидроксид, что подтверждается данными дифференциально-термического и термогравиметрического анализов.

Качество используемого оксида цинка в различных отраслях промышленности определяется не только фазовым составом продукта: важным является наличие или отсутствие в нём различных примесей. Источником примесей в готовом оксиде цинка при использовании электросинтеза на переменном токе могут быть либо металлический цинк, из которого изготовлены электроды, либо электролит, в котором осуществляется процесс.

Полученные при различных условиях электролиза порошки оксида цинка анализировались на наличие в них хлоридов, меди и железа. Кроме того, был проанализирован электролит до, и после проведения процесса электролиза на содержание ионов свинца, меди, кадмия и железа. Результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Сопоставляя результаты анализов можно констатировать, что содержание ионов кадмия, меди и железа в полученном оксиде цинка уменьшается.

Таблица 1

Содержание примесей в сухом оксиде цинка

Ион	Содержание, мас.%		
	Электрохимический способ	Гидрометаллургический способ	Термическое окисление
Cl	0,24	0,28	—
Fe	менее $4 \cdot 10^{-3}$	0,02	$4,8 \cdot 10^{-3}$
Cu	менее $0,2 \cdot 10^{-3}$	0,01	$0,8 \cdot 10^{-3}$

Необходимость проведения анализов на наличие хлоридов продиктована тем, что в качестве электролита используется раствор NaCl.

Таблица 2

Содержание примесей в электролите

Ион	Содержание, мг/л	
	Свежий электролит	Отработанный электролит
Cd	0	$2,1 \cdot 10^{-3}$
Fe	12	17
Pb	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$
Cu	$95,2 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$

Одними из важнейших показателей, определяющих основные эксплуатационные характеристики оксида цинка в технологическом процессе, являются удельная поверхность, пористость и дисперсность. Поскольку основное изменение в величине удельной поверхности происходит в процессе прокаливания оксида, необходимо было выявить влияние температуры на этот показатель.

Удельная поверхность оксида цинка, синтезированного нами при различных плотностях переменного тока и температуре электролита 90 °С, прокалённого при

различных температурах, определялась по методу БЭТ. Экспериментальные данные приведены на рис. 5.

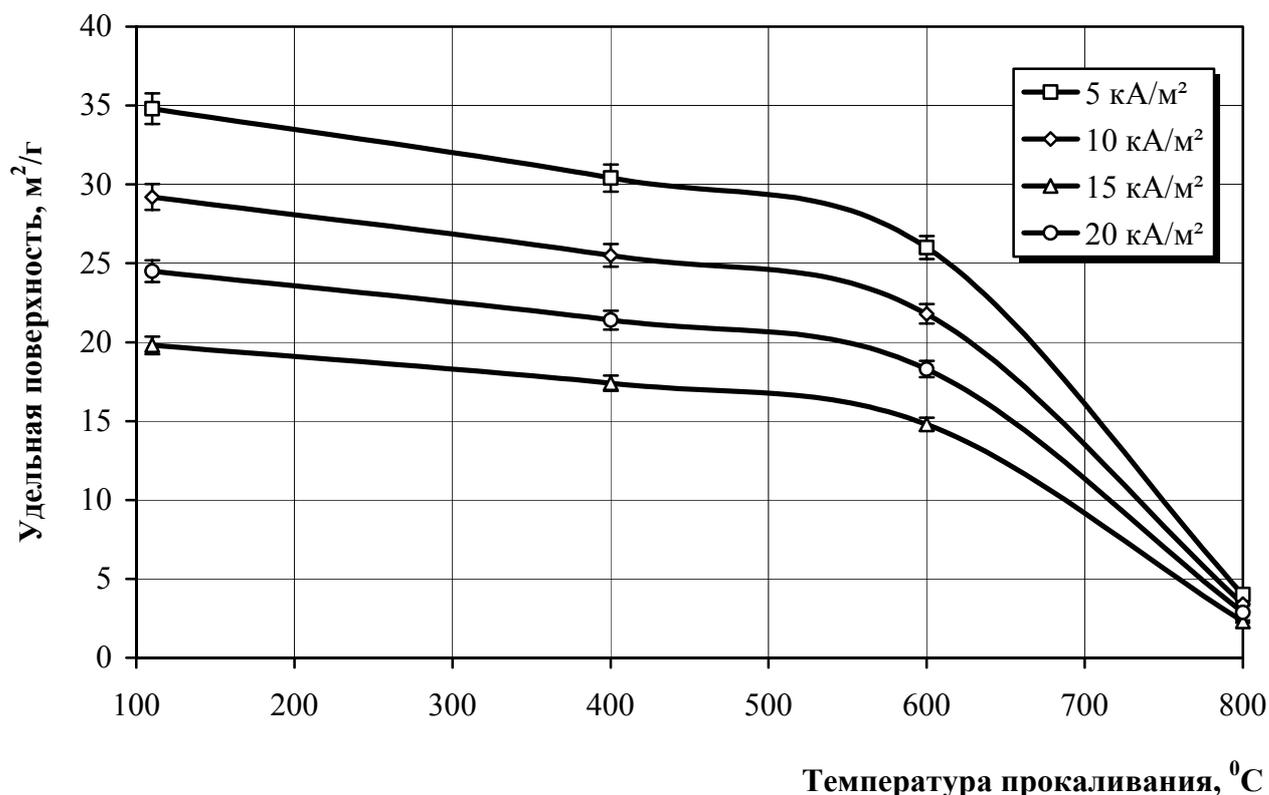


Рис. 5. Зависимость удельной поверхности оксида цинка, полученного при различных плотностях переменного тока, от температуры прокаливания

Из рисунка видно, что наибольшее значение величины удельной поверхности во всём интервале температур прокаливания соответствует оксиду цинка, полученному при плотности тока 5 $\text{кА}/\text{м}^2$. Для образца высушенного при 110 $^{\circ}\text{C}$ удельная поверхность составляет 34,8 $\text{м}^2/\text{г}$. При увеличении температуры прокаливания в интервале 110-600 $^{\circ}\text{C}$ последняя снижается до 26,0 $\text{м}^2/\text{г}$, что не существенно, учитывая широкий температурный интервал. Прокаливание оксида при 800 $^{\circ}\text{C}$ приводит к резкому уменьшению удельной поверхности до 4,0 $\text{м}^2/\text{г}$. Аналогичный вид имеют зависимости и для оксида, полученного при других плотностях тока.

Изменение удельной поверхности объясняется уменьшением пористости, за счёт протекающих процессов рекристаллизации и спекания частиц оксида цинка.

Кроме того, для полученного оксида были измерены размеры частиц, пор, проведено распределение их по размерам, а также сделаны микрофотографии частиц.

Таким образом, на основании полученных данных фазового состава и анализа пористой структуры, а также базируясь на литературных сведениях, можно рекомендовать температурный интервал прокаливания продукта электролиза 250-600 °С, как наиболее благоприятный для сохранения высокой активной поверхности оксида цинка, синтезированного электрохимическим способом на переменном токе промышленной частоты.

В **главе 4** приведена методика расчёта аппарата и параметров процесса электрохимического окисления металлического цинка.

Общая рабочая поверхность электродов ($S_{об}$) необходимая для обеспечения заданной производительности (Π), определится следующим образом:

$$S_{об} = \frac{\Pi}{C \cdot q}, \quad (11)$$

где $C = x^{ZnO} \cdot C^{ZnO} + x^{Zn(OH)_2} \cdot C^{Zn(OH)_2}$ – безразмерный коэффициент, учитывающий образование оксидных соединений из металлического цинка. Здесь x^{ZnO} , $x^{Zn(OH)_2}$ – массовые доли оксида и гидроксида цинка соответственно; C^{ZnO} , $C^{Zn(OH)_2}$ – коэффициенты перевода металлического цинка в оксид и гидроксид соответственно.

Рассчитать общее количество электродов (n) при известной рабочей поверхности одного из них ($S_k = \frac{S_{об}}{(n-1)}$), с учётом предлагаемого промышленностью сортамента, можно по выражению:

$$n = \frac{\Pi}{C \cdot q \cdot S_k} + 1, \quad (12)$$

Важную роль в поддержании стабильного стационарного режима электролиза играет постоянство концентрации электролита. Расход воды (G^{H_2O} , кг/с) в процессе электрохимического окисления металлического цинка, согласно уравнениям (1-6) выражается следующим образом:

$$G^{H_2O} = \frac{n \cdot M_{H_2O}}{m \cdot M_{Zn}} \cdot q \cdot S_{об}, \quad (13)$$

где M_{H_2O} , M_{Zn} – молекулярные массы воды и цинка соответственно, кг/кмоль.

В этой же главе приведён расчёт расхода энергии, потребляемой установкой в стационарном режиме работы. В результате определено количество тепла, которое необходимо отводить для поддержания оптимальной температуры процесса. Получено выражение для расхода охлаждающей воды через значения основных параметров процесса при периодическом режиме работы:

$$G_{хл} = \frac{\frac{\Pi}{C} \cdot \left[\frac{(1-\eta) \cdot i^2 \cdot a_4}{2 \cdot \aleph_t \cdot q} - \frac{n \cdot M_{H_2O}}{m \cdot M_{Zn}} \cdot c_p^{H_2O} \cdot (t_{онм} - t_{H_2O}^{нс}) \right] - G^{H_2} \cdot c_p^{H_2} \cdot t_{онм}}{1,05 \cdot c_p^{H_2O} \cdot (t_k - t_n)} - \left(\frac{\frac{m_{эл} \cdot c_p^{эл} (t_{онм} - t_{эл}^н)}{\tau_{рэл}} + G_{нап} \cdot c_p^{H_2O} \cdot (2 \cdot t_{онм} - t_{H_2O}^к)}{1,05 \cdot c_p^{H_2O} \cdot (t_k - t_n)} \right), \quad (14)$$

где $G_{хл}$ – расход охлаждающей воды, кг/с; $G_{нап}$ – расход испаряющейся воды, кг/с; $m_{эл}$ – масса электролита, кг; $\tau_{рэл}$ – время разогрева электролита, ч; $c_p^{H_2O}$ – удельная теплоёмкость воды, Дж/(кг·К); $c_p^{H_2}$ – удельная теплоёмкость водорода, Дж/(кг·К); $c_p^{эл}$ – удельная теплоёмкость электролита, Дж/(кг·К); G^{H_2} – расход водорода, кг/с; $t_{онм}$ – температура процесса, °С; $t_{эл}^н$ – начальная температура электролита, °С; $t_n^{нс}$ – начальная температура подаваемой воды, °С; t_n и t_k – начальная и конечная температуры охлаждающей воды, °С; \aleph_t – удельная электропроводность (Ом·м)⁻¹; a_4 – межэлектродное расстояние, м.

При непрерывном проведении процесса с постоянным отводом образующихся продуктов реакции необходимо учитывать в энергетическом балансе тепло, уносимое из установки с удаляемой суспензией продукта электролиза в растворе электролита и тепло, расходуемое на нагрев эквивалентного количества электролита, добавляемого в аппарат. Тогда уравнение (14) примет вид:

$$G^{xl} = \frac{\Pi \cdot \left\{ \frac{1}{C} \left[\frac{i^2 \cdot (1-\eta) \cdot a_4}{2 \cdot \mathfrak{N}_t \cdot q} - \frac{n \cdot M_{H_2O}}{m \cdot M_{Zn}} \cdot c_p^{H_2O} \cdot (t_{onm} - t_n^{n6}) \right] - \left[c_p^{cm} \cdot t_{onm} + \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \cdot c_p^{эл} \cdot (2t_{onm} - t_n^{эл}) \right] \right\} \cdot \left\{ G^{H_2} \cdot c_p^{H_2} \cdot t_{onm} + G_{нар} \cdot c_p^{H_2O} \cdot (2 \cdot t_{onm} - t_{H_2O}^к) \right\}}{1,05 \cdot c_p^{H_2O} \cdot (t_k - t_n)}, (15)$$

где c_p^{cm} – удельная теплоемкость смеси оксида и гидроксида цинка, Дж/(кг·К); ε – массовая доля электролита в суспензии.

Рис. 6. Аппаратурно-технологическая схема производства оксида цинка

А – вода дистиллированная; Б – вода техническая; В – технологические стоки.

1 – аппарат для подготовки электролита; 2 – конденсатор; 3 – осушающая колонка; 4 – подогреватель; 5 – электролизёр; 6 – нутч-фильтр; 7 – сушильный шкаф; 8 – мельница.

На основе проведённых расчётов с учётом технологических особенностей процесса предложена аппаратно-технологическая схема производства оксида цинка, позволяющая реализовать поставленные цели. Аппаратно-технологическая схема, приведённая на рис. 6, включает в себя аппарат для подготовки электролита, электролизёр для получения оксида цинка, фильтровальный аппарат, сушильную камеру и измельчитель. Достоинством данной схемы является то, что она легко вписывается в уже существующие производства.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Впервые разработан процесс электрохимического окисления металлического цинка с помощью переменного электрического тока промышленной частоты для получения активного оксида цинка.
2. Экспериментально установлено, влияние состава и концентрации электролита, плотности переменного тока и температуры на скорость процесса и свойства полученного ZnO.
3. Выявлены кинетические закономерности процесса окисления металлического цинка электролизом на переменном токе при плотностях тока в интервале 5-20 кА/м^2 , температурах 50-90 °С в электролите с концентрацией NaCl, равной 3 мас. %.
4. Предложено эмпирическое уравнение для расчёта скорости окисления цинка, учитывающее влияние плотности тока и температуры процесса.
5. Разработана методика расчёта основных параметров процесса электрохимического окисления металлического цинка и предложена аппаратно-технологическая схема производства оксида цинка электрохимическим способом.
6. Установлено влияние плотности тока и температуры термообработки на фазовый состав продукта электрохимического окисления металлического цинка. Показано, что в результате электролиза образуется смесь оксида и гидроксида

цинка, не зависимо от плотности тока, а конечным продуктом технологического цикла является ZnO.

7. Впервые определено влияние плотности переменного тока и температуры термообработки на удельную поверхность и пористость оксида цинка, синтезированного с помощью переменного электрического тока промышленной частоты. Удельная поверхность оксида цинка составляет 20-35 м²/г. Показано, что для сохранения развитой поверхности полученного оксида цинка термообработку необходимо проводить при 250-600 °С.
8. Установлено, что применение метода электрохимического окисления на переменном токе, позволяет снизить содержание примесей, в частности кадмия, железа и меди, в оксиде цинка, по сравнению с традиционными методами.

Выражаю большую благодарность за помощь в выполнении диссертационной работы кандидату технических наук, доценту кафедры ОХТ Коробочкину Валерию Васильевичу.

Основные результаты опубликованы в следующих работах:

1. Коновалов Д. В., Коробочкин В. В., Ханова Е. А., Шмакова В. В. Разрушение цинка под действием переменного тока в электролитах различного состава // Материалы научно-практической конференции «Химия и химическая технология на рубеже тысячелетий», 3-4 октября 2000 г. – Томск, 2000. – С. 71.
2. Коновалов Д. В., Косинцев В. И., Коробочкин В. В., Ханова Е. А. Влияние технологических параметров на скорость электрохимического синтеза оксида цинка с помощью переменного тока // Международная научно-практическая конференция «Химия – XXI век: новые технологии, новые продукты», 5-8 декабря 2000г. – Кемерово. – 2000. – С. 94.
3. Коновалов Д. В., Коробочкин В. В., Косинцев В. И., Ханова Е. А. Окисление свинца электролизом под действием переменного тока в электролитах различного состава // Всероссийская научно-техническая конференция по техноло-

- гии неорганических веществ. Тезисы докладов, 19-22 июня 2001г. – Казань. – 2001. – С. 172.
4. Коновалов Д. В., Коробочкин В. В., Ханова Е. А. Электрохимический синтез оксида цинка на переменном токе // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2003. – № 1. – С. .
 5. Коробочкин В. В., Косинцев В. И., Коновалов Д. В., Ханова Е. А. Методика определения количества окисленного металла при электролизе на переменном токе // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2003. – № 1. – С. .
 6. Коробочкин В. В., Косинцев В. И., Быстрицкий Л. Д., Швалев Ю. Б., Ханова Е. А., Коновалов Д. В. Электрохимический синтез геля гидроксида алюминия с помощью переменного тока // Сибирский медицинский журнал. 1999. – т. 15. – № 3-4. – С. 37-38.
 7. Заявка 2002116348 Россия, МПК⁷ С 01 G 9/02. Способ получения оксида цинка / Д. В. Коновалов, В. В. Коробочкин, В. И. Косинцев, Е. А. Ханова (Россия). Приоритет от 17.06.02.