

# Использование пузырьков водорода в качестве динамического барьера при электролизе

Э.А.~Андреев

22 ноября 2025г.

Abstract

Представлены результаты экспериментального исследования процесса электролиза в тонкой горизонтально ориентированной трубке с водным солевым раствором. Показано, что интенсивное выделение водорода на катоде приводит к формированию плотной газовой области, которая существенно ограничивает перенос ионов металла от анода к катоду. В результате осаждение окисла железа происходит в объеме электролита и на поверхности пузырьков водорода, не достигая катода. Наблюдаемый эффект позволяет рассматривать пузырьковую газовую фазу как альтернативу традиционным барьерным мембранам при получении пористых окислов металлов.

Ключевые слова: электролиз, водородные пузырьки, массоперенос, окислы металлов, пористые структуры.

## 1 Введение

В классических электрохимических системах перенос ионов металла от анода к катоду приводит к их восстановлению непосредственно на поверхности катода. Для управления данным процессом в ряде случаев применяются мембраны и барьерные фильтры. Альтернативный подход, основанный на использовании газовой фазы, представляет интерес с точки зрения упрощения конструкции электрохимических систем.

Целью настоящей работы является экспериментальная проверка возможности подавления переноса ионов металла к катоду за счёт формирования плотной области водородных пузырьков.

## 2 Экспериментальная установка

Эксперимент проводился в стеклянной трубке внутренним диаметром 6 мм, заполненной водным раствором слабой концентрации хлорида натрия. Трубка была ориентирована горизонтально для исключения влияния гравитационных эффектов на распределение газовой фазы.

В качестве электродов использовались железные стержни. Расстояние между анодом и катодом составляло 5 см. К электродам прикладывалось постоянное напряжение порядка 40 В. Система была герметичной.

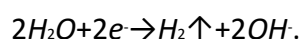
## 3 Результаты эксперимента

В процессе электролиза на поверхности катода наблюдалось интенсивное выделение водорода с образованием плотного скопления пузырьков. Вблизи катода формировалась устойчивая газовая область, существенно уменьшающая объём жидкой фазы.

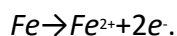
Установлено, что продукты анодного растворения железа не достигали катода. Осаждение окисла железа происходило на расстоянии нескольких сантиметров от катода, в объёме электролита и на стенках трубки. Также наблюдалось осаждение твёрдой фазы непосредственно на поверхности пузырьков водорода, формирующих взвешенное облако.

## 4 Электрохимические реакции

При электролизе водного солевого раствора на катоде протекает реакция выделения водорода:



На железном аноде происходит анодное растворение металла:



Образующиеся ионы железа далее подвергаются гидролизу и окислению, что приводит к формированию окисных и гидроксидных соединений железа непосредственно в объёме электролита.

#### 4.1 Оценка давления пузырьков водорода

Давление внутри газового пузырька определяется уравнением Лапласа:

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r},$$

где  $\gamma$  — коэффициент поверхностного натяжения воды, а  $r$  — радиус пузырька.

Для пузырьков микронного масштаба ( $r \sim 10^{-5}$ – $10^{-4}$  м) избыточное давление достигает значений порядка нескольких килопаскалей. Этого достаточно для локального вытеснения жидкой фазы из приэлектродной области и существенного снижения диффузионного и миграционного переноса ионов металла к катоду.

Таким образом, плотное скопление пузырьков водорода формирует динамически поддерживаемый газовый барьер, эффективно подавляющий массоперенос ионов и препятствующий их восстановлению на поверхности катода.

### 5 Обсуждениерезультатов

Полученные результаты указывают на то, что плотная область водородных пузырьков выполняет функцию динамического барьера, препятствующего массопереносу ионов железа к катоду. Вследствие

вытеснения электролита из катодной области электролиз прекращался после разрыва электрического контакта.

В дополнительных экспериментах, не рассматриваемых в настоящей работе, аналогичный принцип был использован для получения пористых и пенообразных структур меди, цинка и алюминия. Это позволяет предположить, что пузырьковая фильтрация может способствовать увеличению выхода пористых окислов металлов по сравнению с традиционными методами.

## 6 Заключение

Показано, что водородные пузырьки, образующиеся при электролизе, могут эффективно выполнять функцию барьерного слоя, препятствующего переносу ионов металла к катоду. Данный эффект может быть использован при разработке электрохимических методов получения пористых окислов металлов без применения твёрдых фильтрующих мембран.

Figure 1: Схема формирования газового барьера из пузырьков водорода на катоде. Образование плотной водородной области препятствует переносу ионов металла к катоду.

© Э.А.~Андреев

Figure 1

