

ВЛИЯНИЕ КАТИОНА АММОНИЯ НА КОРРОЗИЮ СТАЛИ В СРЕДЕ, СОДЕРЖАЩЕЙ ХЛОРИД-ИОН

Асророва Зухра Сарваровна

Ходжаев Шахзод

Преподаватели Джизакского политехнического института

Джораева Мархабо

Преподаватель медицинского техникума имени Абу Али ибн Сины.

Аннотация

Сегодня изучается глубокая коррозия металлов, в частности коррозия различных видов железа, а также влияние различных сред и ионов на эту коррозию. В данной научной статье рассматривается некоррозионная сталь 316, исследуется влияние катиона NH_4^+ на ее коррозию, проводятся эксперименты в среде с присутствием ионов хлора. Также проведен анализ глубокой коррозии в области стали. Лабораторные исследования показали, что аммоний-ионы усиливают процесс глубокой коррозии. Результаты исследования показывают, что NH_4^+ не только усиливает процесс коррозии, но также увеличивает количество мест, подверженных коррозии. Вместе с тем гидролиз аммония создает слабокислую среду, что приводит к увеличению степени кислотности в растворе и, следовательно, к увеличению коррозии на поверхности стали 316SS. Устойчивый рост и распространение коррозии осуществляются диффузией в процессе роста и распространения коррозии, и в этом процессе нет никакой связи с потенциалом ионов раствора и растворенными ионами, а коррозия преимущественно направлена вглубь.

Ключевые слова: нержавеющая сталь, катион аммония, питтинговая коррозия, стабильная питтинговая коррозия. Статистический анализ CLSM.

Входить

316SS нержавеющая сталь обладает высокой устойчивостью к коррозии благодаря формированию на ее поверхности защитного пассивного оксидного слоя. Однако этот пассивный слой неоднороден и имеет относительно слабые участки вдоль всей поверхности. Такие участки легко подвергаются атаке ионов, что приводит к разрушению оксидного слоя. Ионы хлора (Cl^-) являются одними из наиболее агрессивных в процессе использования нержавеющей стали, и они могут способствовать образованию трещин. Высокая концентрация хлорида натрия может привести к снижению потенциала пассивности и обнаружению коррозии нержавеющей стали. Исследование влияния концентрации ионов хлора на коррозию нержавеющей стали при высокой температуре показало, что с

увеличением концентрации ионов хлора уменьшается скорость коррозии, а потенциал пассивности снижается с ростом концентрации ионов хлора. Рост содержания хлорида в растворе способствует повышению скорости коррозии и снижению потенциала пассивности. Коррозия поверхности нержавеющей стали, обработанной методом вакуумного взрыва, происходит в следующие этапы:

1. Ядерный рост;
2. Метастабильный рост;
3. Устойчивый рост.

Эти три этапа важны для изучения коррозии нержавеющей стали 316SS. В данной исследовательской работе электрохимический тест, CLSM, SEM и статистические методы используются для изучения влияния потенциала и NH_4^+ на метастабильную глубину и глубинное поведение 316SS в хлоридной среде. В данной статье обсуждаются и статистически анализируются возникновение, рост и распространение метастабильной стабильной питтинговой коррозии, а также переход от питтинговой коррозии к стабильной питтинговой коррозии.

Объект и методы исследования

В эксперименте в качестве сырья использовалась пластина из стали 316SS толщиной 2,9 мм. Химический состав нержавеющей стали 316, использованной в этой работе, составляет примерно: 0,039% C, 0,057% Si, 1,22% Mn, 0,046% P, 0,0037% S, 9,93% Ni, 16,43% Cr, 2,12%. Он содержит Mo и Fe-sifat, а также количество состав. Размер образца, используемого при исследовании стабильного поведения нержавеющей стали при индентировании, составляет 10 мм × 10 мм × 2,9 мм. Образцы из нержавеющей стали 316 были тщательно зачищены на наждачной бумаге и обезжирены спиртом и ацетоном. После этого его очищают в воде и сушат на холодном воздухе. Для предотвращения целевой коррозии во время испытаний на боковой стороне образца путем предварительной пассивации концентрированной азотной кислотой при 55°C в течение 65 минут формировали пассивную пленку.

Для опыта готовят следующие растворы: 0,1 М NaCl (pH = 7) и NH_4Cl (pH = 6).

Электрохимическое испытание

Для электрохимических измерений в качестве рабочего электрода использовалась сталь 316SS, в качестве противоэлектрода – пластина из нержавеющей стали размером 19×19×0,1 мм, в качестве рабочего электрода – насыщенный каломельный электрод. Для поддержания устойчивого состояния во время каждого испытания потенциал открытых электронов (ОСР) в тестируемом растворе регистрируется в течение получаса после удаления оксидной пленки. Когда плотность тока внезапно увеличивается, этот потенциал называется пит-потенциалом (Epit). Затем потенциал меняли направление и

сканировали в катодном направлении до потенциала первого пересечения, при этом положительную анодную поляризационную кривую принимали за защитный потенциал (E_{prot}).

Потенциостатические поляризационные испытания были проведены в потенциальном диапазоне стабильной питтинговой коррозии, чтобы понять и рассчитать скорость и рост стабильной питтинговой коррозии с кинетической точки зрения. Эти налагаемые стабильные потенциалы питтинговой коррозии, выбранные из циклических потенциодинамических кривых, составляли 0,15 В SCE, 0,2 В SCE, 0,25 В SCE, 0,3 В SCE в течение 30 минут.

Все вышеперечисленные эксперименты проводились при комнатной температуре (23–24°C). Для обеспечения воспроизводимости экспериментов кривые циклической потенциодинамической поляризации и потенциодинамической поляризации повторялись 10 раз, а остальные кривые - 2 или 3 раза.

Свойства глубины поверхности

Параметры ямок (плотность ямок, средняя глубина ямок, максимальная глубина ямок, средний диаметр ямок) измерялись и анализировались с помощью микроскопа BV4243.

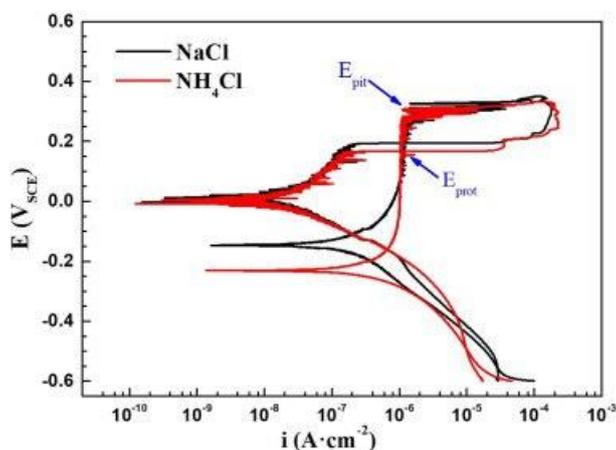
Результаты и обсуждение

Анализ циклической потенциодинамической поляризационной кривой

Питтинговую коррозию нержавеющей стали 316 в растворе хлорид-ионов можно разделить на несколько стадий: возникновение питтинговой коррозии, устойчивый рост. В целом, E -ямка отражает рост стабильной язвы, а возникновение и рост коррозионных язв обычно происходит между E_{prot} и $E_{пит}$. Под поверхностью E -защиты из нержавеющей стали глубина устойчивого состояния не видна.

Показаны циклические потенциодинамические поляризационные кривые типичного 316SS в растворах NaCl и NH₄Cl. $E_{пит}$ 316SS в растворах NaCl и NH₄Cl составляет 0,33 В SCE и 0,31 В SCE соответственно, а E_{prot} 0,19 В SCE и 0,16 В SCE соответственно. Как видно из рисунка, между $E_{пит}$ и E_{prot} имеется множество пиков колебаний тока.

Рисунок 1. Кривые циклической поляризации 316SS в растворах NaCl и NH₄Cl.



III.2. Анализ метастабильного роста глубины за счет потенциостатической поляризации

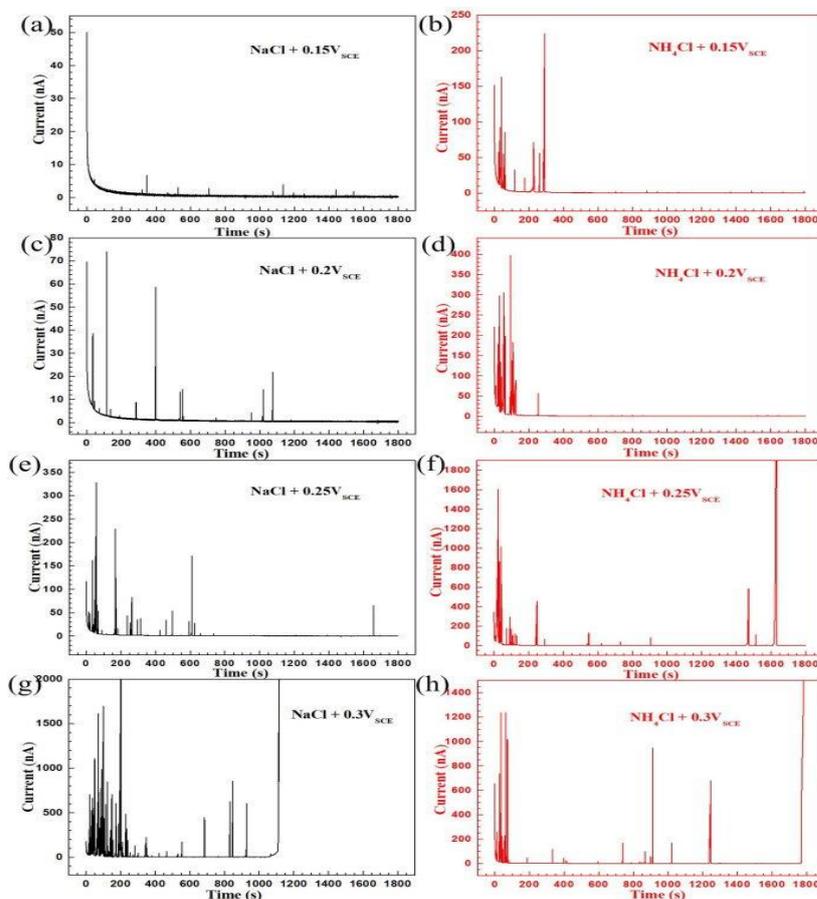


Рисунок 2. Текущий временной переход 316СС в растворах NaCl (а, в, д, ж) и NH₄Cl (б, г, е, з) при периоде 0,15V SCE (а, б), 0,2V SCE (в, г), 0,25 V SCE (д, е) и 0,3 V SCE (ж, з).

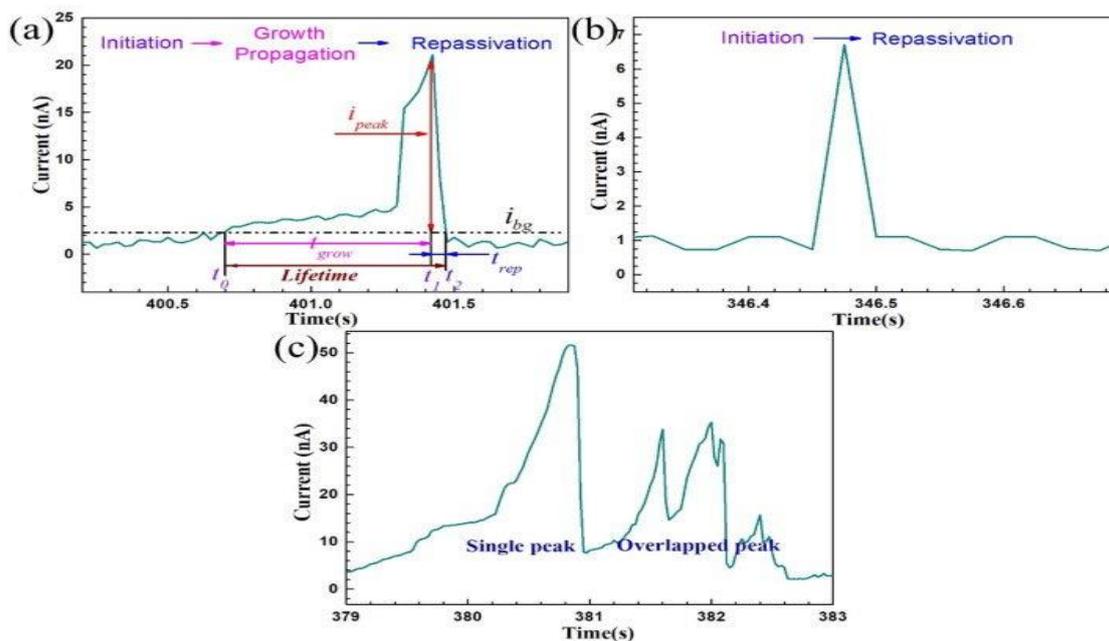
На рис. 2 показаны амперно-временные кривые 316SS при 0,15 В СКЭ, 0,2 В СКЭ, 0,25 В СКЭ и 0,3 В СКЭ, полученные в растворах NaCl и NH₄Cl соответственно. Видно, что количество и амплитуда пиков плотности метастабильного тока увеличиваются с положительным сдвигом приложенного потенциала, что указывает на то, что высокий приложенный потенциал ускоряет процесс зарождения и роста стабильной питтинговой коррозии. Кроме того, по сравнению с раствором NaCl (за исключением 0,3 V SCE), добавление NH₄⁺ значительно увеличивает измеренную пиковую плотность тока ямок, но не вызывает большого изменения количества стабильных ямок.

На рисунках 3а–б показаны два различных стационарных пика плотности глубинного тока 316SS при потенциостатической поляризации. Скорость увеличения и уменьшения плотности тока на рис. 3б очень высока, что указывает на то, что метастабильного распространения глубокой коррозии не произошло, а репассивация только началась.

Во время статистики пиков плотности тока на рисунке 2 обнаруживаются различные типы метастабильных пиков плотности тока (переходные процессы с

одним пиком и переходные процессы с перекрывающимися пиками). Один пик содержит только один процесс повышения и изменения тока без инициирования вторичного провала, а перекрывающиеся пики — это два или более перекрывающихся пика, как показано на рисунке 3. Он содержит пики. По мере увеличения приложенного потенциала процент перекрывающихся пиков увеличивался.

Рисунок 3. Метастабильная глубина 316SS при потенциостатической поляризации текущие вершины (одиночные временные вершины, перекрывающиеся переходные вершины) .



Это может быть связано с воздействием серосодержащих соединений или других растворимых металлогенических дефектов вблизи или внутри язв во время стабильного роста ямок, что приводит к вторичному или множественному зарождению ямок и, таким образом, может привести к перекрытию пиков тока.

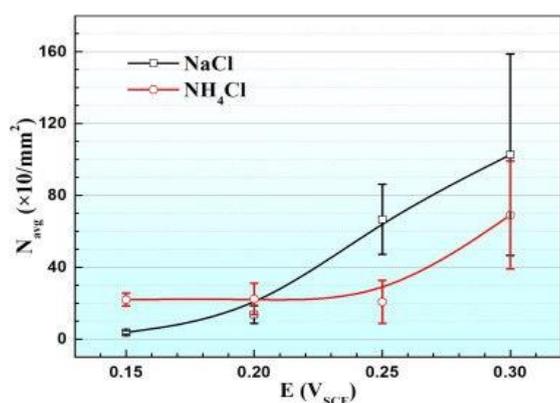
Чтобы лучше изучить влияние приложенного потенциала и NH_4^+ на метастабильную глубокую коррозию, в анализе принят статистический метод. Статистические данные о количестве стабильных пиков плотности тока и пиковой плотности тока применимы только к метастабильному пику, значение плотности тока которого превышает плотность фонового тока ($3 \text{ нА} \cdot \text{см}^{-2}$). Для перекрывающегося пика плотности тока новый пик плотности тока появляется, когда плотность тока перекрывающегося пика снижается до уровня менее 50%, что представляет собой ту же стабильную питтинговую коррозию. При уменьшении перекрытого пика плотности тока более чем на 50% и появлении нового пика плотности тока устойчивую питтинговую коррозию перекрытой части рассматривают отдельно.

Статистический анализ метастабильной глубокой коррозии

Метод статистического анализа позволяет количественно изучить влияние приложенного потенциала и NH_4^+ на процесс инициирования, роста и повторного восстановления стабильной питтинговой коррозии. На рисунке 4 показано изменение средней плотности язв стабильной питтинговой коррозии при приложенном потенциале в различных средах раствора. Это отражает изменение количества центров ПАВ и изменение количества стабильных пит-ядер 316SS. По мере увеличения приложенного потенциала средняя плотность числа ямок увеличивается, что указывает на то, что многие ямки трудно активировать и зародышеобразовать при низких потенциалах.

На рисунке 5 показана взаимосвязь между средним сроком службы устойчивых ямок (а) и максимальным сроком службы (б) нержавеющей стали 316 при различных растворах и приложенном потенциале. В растворе NaCl среднее время жизни глубокой коррозии мало менялось с увеличением приложенного потенциала, тогда как в растворе NH_4Cl среднее время жизни уменьшалось при положительных сдвигах приложенного потенциала.

Рисунок 4. Средняя плотность по глубине (N_{avg}) на SS 316 в растворах NaCl и NH_4Cl при различных приложенных потенциалах.



В растворе NH_4Cl среднее время жизни уменьшалось при положительном сдвиге приложенного потенциала. Максимальный срок службы питтинговой коррозии в растворе NaCl увеличивается с увеличением приложенного потенциала, что указывает на то, что увеличение приложенного потенциала приводит к более высокой активности растворения металла и способствует распространению язв. В этом случае pH язвочек низкий, но гидролиз NH_4^+ обеспечивает раствор в язвах некоторым количеством H^+ , что еще больше ускоряет процесс питтинговой коррозии.

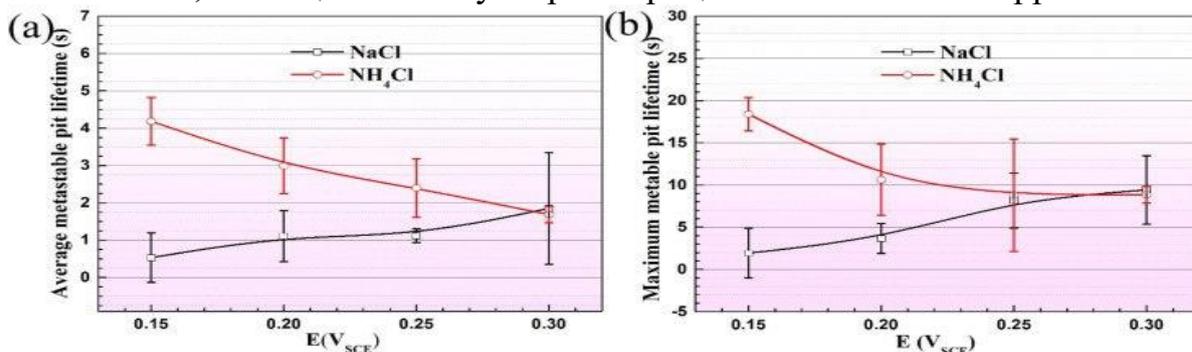
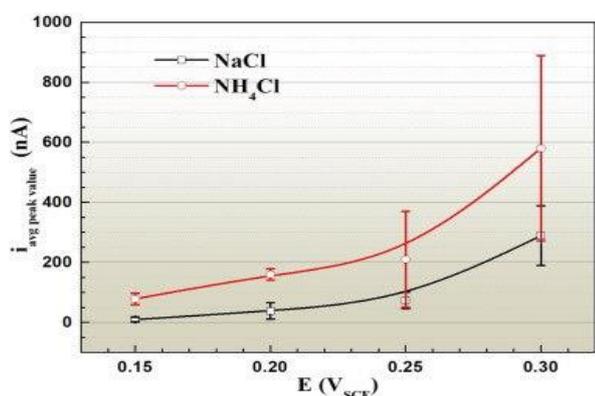


Рисунок 5. Средний срок службы (а) и максимальный срок службы (б) при приложении разных потенциалов к стали 316SS в растворах NaCl и NH_4Cl .

На рис. 6 видно, что среднее пиковое значение трансформации плотности метастабильного глубинного тока увеличивается с увеличением приложенного потенциала в двух растворах, а среднее пиковое значение трансформации плотности тока выше в растворе NH_4Cl , чем в растворе NaCl . Чем выше пиковая плотность тока, тем глубже ямка, которая может эффективно блокировать диффузию ионов и поддерживать содержание анодного электролита в ямках, необходимое для распространения коррозии. Следовательно, чем выше потенциал, тем выше вероятность перехода глубокой коррозии от метастабильного развития к устойчивому.

Как показано на рисунке 7, получена кумулятивная диаграмма распределения вероятностей скорости роста метастабильной питтинговой коррозии. Скорость роста метастабильной глубокой коррозии увеличивается с увеличением приложенного потенциала в двух растворах (рис. 7а и б). **Рисунок**



6. Среднее пиковое значение (i_{avg} пиковое значение) тока, проходящего через сталь 316SS в растворах NaCl и NH_4Cl при приложении разных потенциалов.

Результаты показали, что увеличение приложенного потенциала ускоряет анодное растворение в яме, а по мере увеличения глубины ямы защищается диффузия ионов и сохраняется состав анодного электролита в яме, что облегчает процесс диффузии яма. метастабильная глубина. Это согласуется с предыдущим обсуждением. Чтобы исследовать влияние NH_4^+ на процесс стабильного роста и распространения ямок, на рисунках 7с-f сравнивается кумулятивное распределение вероятностей скорости стабильного роста ямок 316SS в растворе NaCl и NH_4Cl .

Стабильный анализ глубины

Стабильное коррозионное состояние — это стадия устойчивого роста, когда произведение устойчивости превышает критическое значение в процессе зарождения, роста и распространения глубокой коррозии. Большинство отказов оборудования происходит из-за точечной коррозии оборудования, вызванной быстрым распространением коррозии, перешедшей в стабильную фазу распространения. Поэтому анализ и исследование стабильных глубин имеет большое значение для прогнозирования и предотвращения связанных с ними аварий.

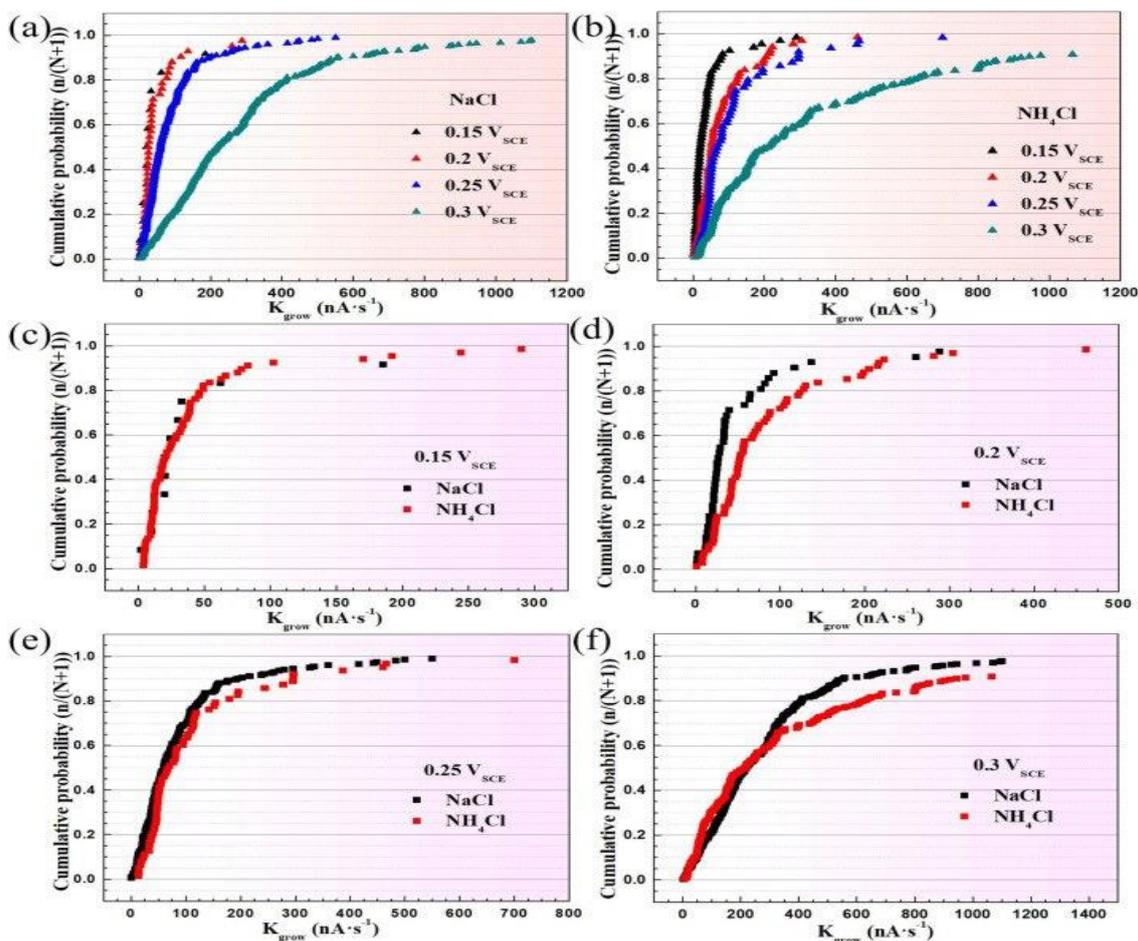
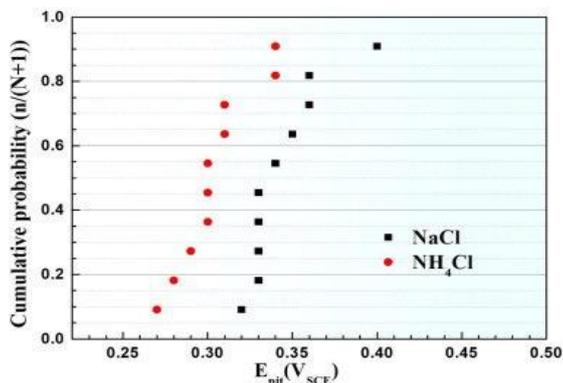


Рисунок 7. Суммарные скорости роста стабильных лунок при SCE 316 и SCE 0,15 В (в), SCE 0,2 В (г), SCE 0,25 В (д) и 0,3 В в растворах NaCl (а) и вероятности SCE (б) NH₄Cl (е).

Электрохимический анализ

На рис. 8 показано распределение вероятностей расположения глубинного потенциала 316SS по результатам потенциодинамических поляризационных тестов в растворах NaCl и NH₄Cl. Е-пит 316SS в растворе NH₄Cl значительно ниже, чем без NH₄⁺. Это указывает на высокую глубинную чувствительность 316SS в растворе NH₄Cl. Затем проводится статистический анализ стабильной питтинговой коррозии, образовавшейся на поверхности нержавеющей стали 316SS. На рисунке 9 показаны кривые зависимости тока от времени для нержавеющей стали 316, испытанной в рабочих растворах при трех условиях приложенного потенциала. Когда потенциал достигает минимума Е, а затем проводится тест на потенциостатическую поляризацию при разных потенциалах, ток продолжает увеличиваться, что указывает на то, что на этом этапе имеет место устойчивый коррозионный переход. Потом поток стабилизировался.

На рисунке 9 показано количество, плотность и статистические результаты питтинговой коррозии 316SS (1 см²) при трех приложенных потенциалах выше питтингового потенциала в растворах NaCl и NH₄Cl по тесту CLSM. В обоих решениях плотность ямок увеличивается с увеличением приложенного потенциала.



потенциала.

Рисунок 8. Кумулятивный потенциал потенциалов 316SS в растворах NaCl и NH₄Cl.

Обычно влияние приложенного потенциала и катиона NH₄⁺ на стабильную глубину изучают при трех потенциалах в растворах NaCl и NH₄Cl соответственно по статистическим данным о геометрических свойствах глубины, включая глубину, объем, эквивалентный диаметр и т. д. Глубину ямок получают путем измерения и регистрации максимальной глубины всех ямок, образовавшихся на поверхности образца из нержавеющей стали 316 в различных условиях, с помощью метода испытаний CLSM.

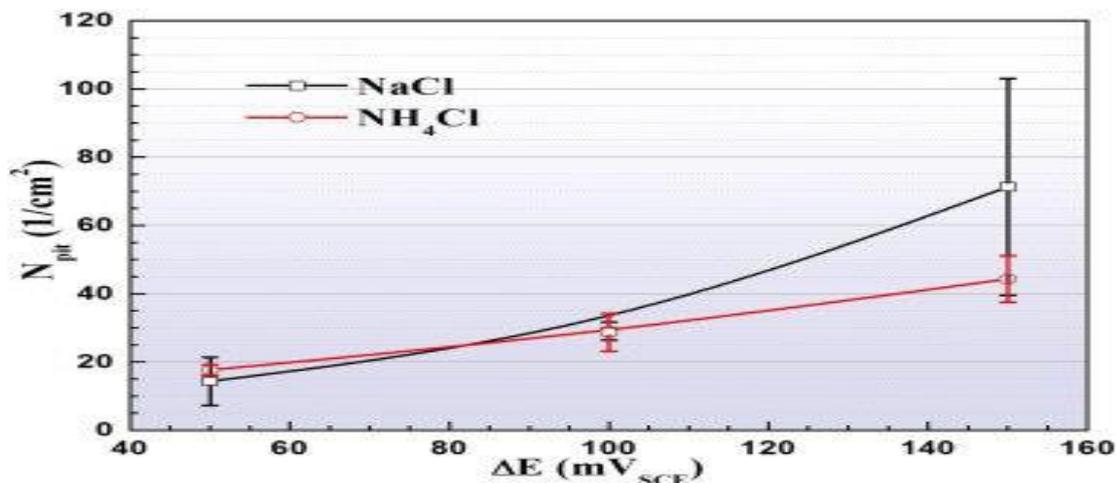


Рисунок 9. Числовая плотность 316SS по глубине в растворах NaCl и NH₄Cl при различных приложенных потенциалах.

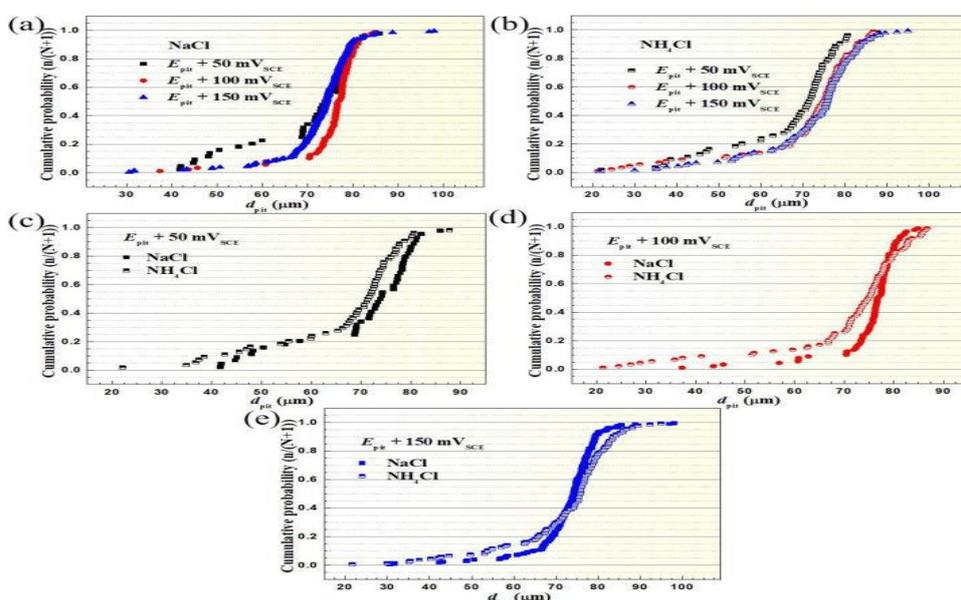


Рисунок 10. Накопленная вероятность глубины ямки 316SS в растворах (a)NaCl и (b) NH_4Cl и растворах (c) $E_{pit} + 50 \text{ мВ SCE}$, (d) $E_{pit} + 100 \text{ мВ SCE}$, (a)NaCl и (b) NH_4Cl .д) $E_{pit} + 150 \text{ мВ SCE}$.

На рисунке 11 показана максимальная глубина углублений в нержавеющей стали 316 при приложенном потенциале в двух тестовых решениях. По мере увеличения приложенного потенциала максимальная глубина ямки постепенно увеличивается, но возрастающая амплитуда не становится большой. Кроме того, добавление NH_4^+ также немного увеличивает максимальную глубину ямок, что указывает на то, что более стабильный процесс роста ямок в основном обусловлен диффузией и что приложенный потенциал и NH_4^+ мало влияют на рост и развитие ямок. На поверхности 316SS наблюдаются ямки, образовавшиеся при разных поляризационных потенциалах в растворах NaCl и NH_4Cl , что показано на рис. 12. С увеличением потенциала поляризации плотность ямок постепенно увеличивается. Это согласуется с результатами по плотности числа ловушек, обсуждавшимися выше. На рис. 13 подробно показана морфология ямок при различных потенциалах поляризации на поверхности нержавеющей стали 316 в растворах NaCl и NH_4Cl . Приложенный потенциал и NH_4^+ в растворе существенно не влияют на морфологию ямок и боковой рост (средний радиус ямок: $\sim 25 \text{ мкм}$). Ямочная коррозия распространяется преимущественно в направлении ямки. Он полностью раскрывает характеристики скрытой ямки, которую нелегко обнаружить (малый диаметр ямы) и которая приводит к деструктивной и легкой перфорации (большая глубина).

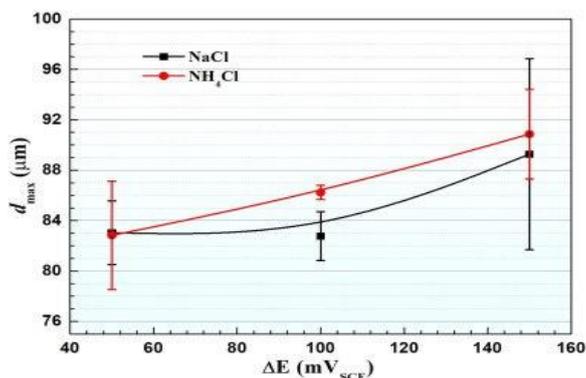


Рисунок 11. Максимальная глубина питтинга (d_{max}) нержавеющей стали 316 в растворах NaCl и NH₄Cl при различных приложенных потенциалах.

3.4.3. Анализ стабильной глубинной морфологии.

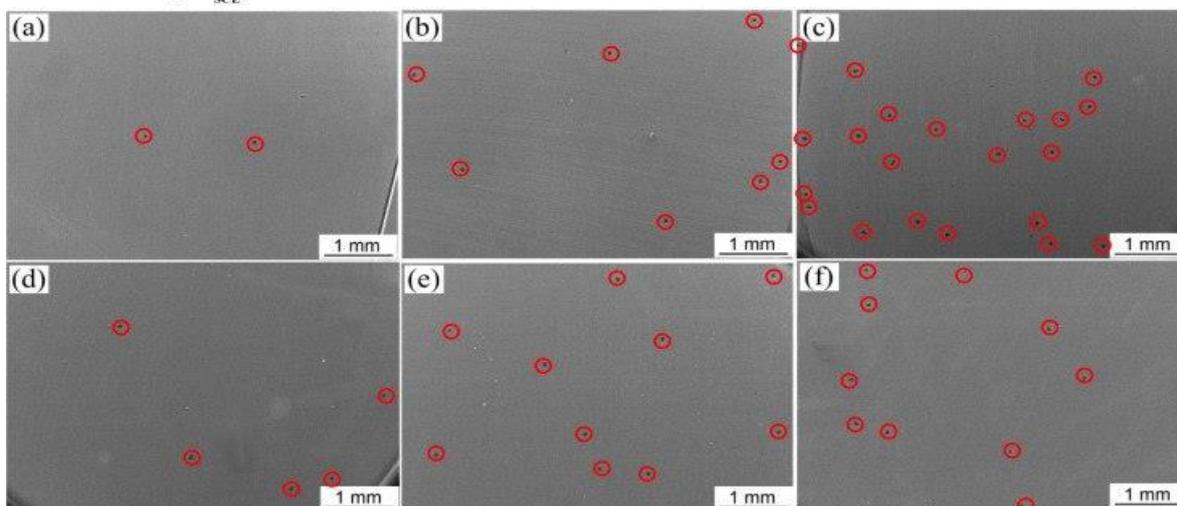


Рисунок 12. Erit +50 мВ SCE (а), Erit +100 мВ SCE (б), Erit +150 мВ SCE (в) и распределение очагов коррозии на 316SS после потенциостатической поляризации в растворе NaCl в растворе NH₄Cl Erit +50 мВ SCE (г), Erit +100 мВ SCE (е), Erit +150 мВ SCE (ф).

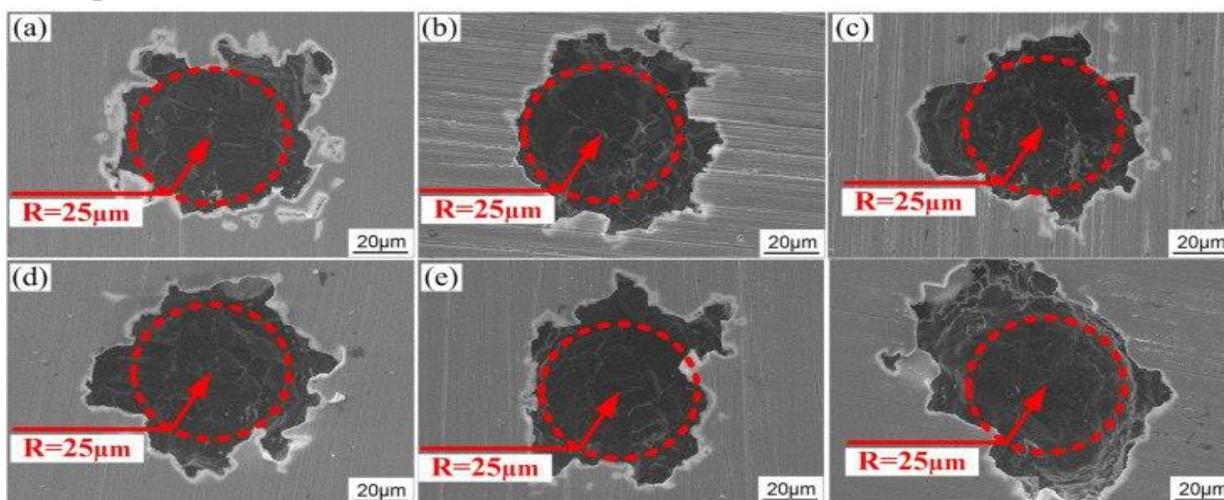


Рисунок 13. Erit +50 мВ SCE (а), Erit +100 мВ SCE (б), Erit +150 мВ SCE (в) и морфология 316SS после потенциостатической поляризации в растворе NaCl в растворе NH₄Cl Erit +50 мВ SCE (г), Erit +100 мВ SCE (д), Erit + 150 мВ SCE (розетка) при .

Механизм роста ямок

Процесс питтинговой коррозии 316SS в растворе хлорид-ионов можно разделить на три стадии: инициирование зародышеобразования, рост и стабильный рост. NH_4^+ продвигает 316SS для производства пассивной пленки с хорошей компактностью. Как показано на рис. 14, б и в, при развитии устойчивой язвенной коррозии верхняя часть язв всегда покрыта защитной пленкой, состоящей в основном из остаточной пассивной пленки и продуктов коррозии (рис. 15-в). . Благодаря наличию защитной пленки в ямках формируется локализованная среда, и катион металла, образующийся при анодном растворении металла в ямках, продолжает увеличиваться. Эти катионы гидролизуются с образованием избытка H^+ , что приводит к снижению значения pH (уравнения 6-9) в ямках. Ионы водорода в системе растворов в основном образуются за счет гидролиза NH_4^+ (уравнение 9). Когда произведение глубины ямы и плотности тока ямы (произведение устойчивости ямы) превышает критическое значение $3 \text{ мкА} \cdot \text{см}^{-1}$, рост ямки переходит в устойчивый рост и разрушает металл, а также происходит плавление стенок и дна ямы. кислый раствор ускоряется.

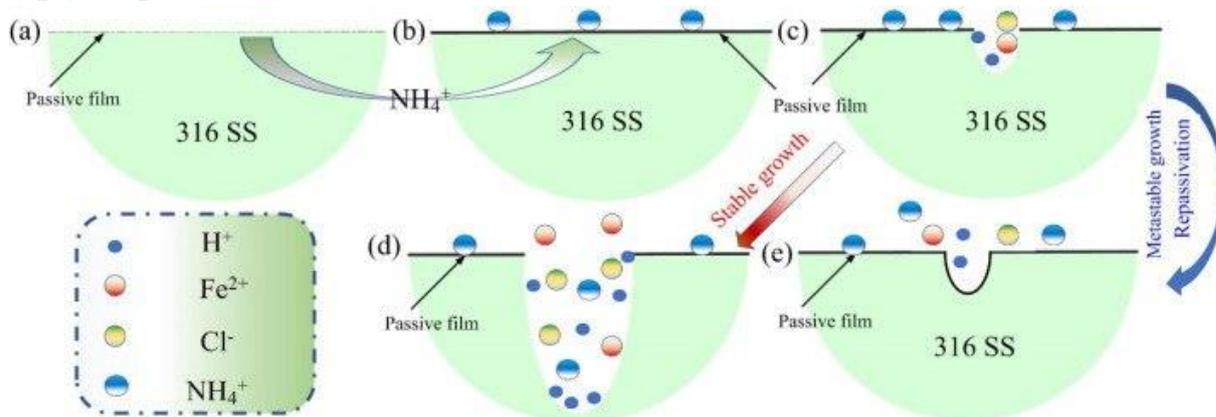
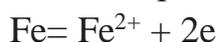


Рисунок 15. Принципиальная схема механизма питтинговой коррозии: стадии пассивного пленкообразования (а) и (б), стадии зародышеобразования (б) и (в), метастабильный рост питтингов (в), стабильный рост питтингов (г) и репассивация питтингов (д) .

Анодная реакция в ямах:



Реакция катионного гидролиза в ямах:



Однако по мере увеличения концентрации ионов в яме образуется большая разница концентраций внутри и снаружи ямы. Если произведение глубины язвы и плотности тока язвы не превышает критического значения $3 \text{ мкА} \cdot \text{см}^{-1}$, то язвенная коррозия снова уменьшится и пассивная пленка реформируется (рис. 14 д). Если ямка слишком глубокая или пленка продукта коррозии слишком толстая, уменьшение катионов в яме, вызванное диффузией ионов, меньше, чем увеличение катионов, образующихся в результате анодной реакции, поэтому внутренняя среда ямы становится кислой. а стабильная яма может продолжать расти и затем стать стабильной ямой (рис. 14 д). Согласно приведенному выше обсуждению, высокий потенциал активизирует активный центр поверхности нержавеющей стали, увеличивая количество метастабильной глубокой коррозии. С другой стороны, остаточная пассивная пленка на очаге коррозии с высоким потенциалом ускоряет растрескивание, позволяет избежать автокаталитического процесса язвы, а глубина язвы увеличивается, а продукт стабильности язвы контролируется ниже критического значения, чтобы стимулировать процесс пассивации и снова сформировать новую пассивную пленку. Кроме того, до разрыва остаточной пассивной пленки NH_4^+ несколько повышает уровень закисления раствора, стимулирует процесс роста и размножения ямок, удлиняет средний цикл метастабильной ямки.

Краткое содержание

Поведение 316SS по глубине при различных потенциалах поляризации в средах, содержащих Cl^- и NH_4^+ , исследовали с помощью потенциодинамического поляризационного теста, CLSM, SEM. Статистическими методами проанализирован процесс инициирования, метастабильного роста и устойчивого роста глубокой коррозии на поверхности нержавеющей стали 316. Сделаны следующие выводы:

а). Процесс зарождения метастабильной глубокой коррозии ингибируется NH_4^+ . Кроме того, высокий приложенный потенциал может стимулировать появление горячих точек на поверхности нержавеющей стали 316, способствуя возникновению точечной коррозии.

б). При гидролизе NH_4^+ образуется больше ионов H^+ , что способствует распространению метастабильных ямок и переходу в стабильную ямку.

в). Если продукт стабильности глубины превышает критическое значение на стадии метастабильного роста, он становится стабильной глубиной; в противном случае оно снова уменьшится. NH_4^+ может способствовать процессу диффузии метастабильных ямок и переходу в стабильные ямки.

г). Рост язвы в основном контролируется диффузией продуктов коррозии в ямке. NH_4^+ и потенциалы положительного смещения мало влияют на процесс

диффузии, поэтому NH_4^+ и потенциалы положительного смещения мало влияют на стабильный рост и размножение ямки.

Рекомендации

1. «Экспериментальный план для изучения влияния температуры, pH и концентрации хлоридов на точечную и щелевую коррозию нержавеющей стали UNS S30403»

С. Фахардо, Д. М. Бастидас, М. Криадо, Ж. М. Бастидас

«Электрохимическое исследование коррозионного поведения новой низконикелевой нержавеющей стали в растворе карбонатной щелочи в присутствии хлоридов».

2. В. Чуайпхан, Л. Шриджароенпрамонг «Оценка микроструктуры, механических свойств и питтинговой коррозии недорогих разнородных нержавеющей сталей 204Cu и 304 методом GTA-сварки».

3. Асророва, дочь Зухры Сарвара «Инструменты, используемые для исследования мониторинга коррозии в трубопроводах нефтехимической промышленности»

файл:///C:/Users/HP/Downloads/Telegram%20Desktop/2.%20Asrorova%20Zuhra%20MAQOLA.pdf

4. Г.С. Франкель, Т. Ли, Дж. Р. Скалли «Перспектива - Местная коррозия: пассивная деградация пленки и стабильность роста ямок».

5. Зухра Асророва, Надир Эркинов, Алимардон Абжалов, Хамзаев сын Шерзода Шухрата «ВЛИЯНИЕ НИТРАТ И ХЛОРИД-ИОНОВ НА ПРОЦЕСС КОРРОЗИИ СТАЛИ» <http://erus.uz/index.php/er/article/view/1723>

6. Э. Дэвис, Дж. С. Уильямс, Питер Х. Балквилл. «Зарождение, рост и стабильность микропитаний в нержавеющей стали»

Коррос. наук. , 36 (1994), стр. 1213-1235.С. Фэн

7. «Статистическое исследование метастабильных ямок в растворе отверстий в газобетоне, загрязненном хлоридами, из нержавеющей стали 304».

Межд. Дж. Электрохим. наук. (2018), стр. 10339-10354.

8. Д.Э. Уильямс, К. Уэсткотт, М. Флейшманн.

«Стохастические модели коррозии нержавеющей стали II. Измерение и интерпретация данных при постоянном потенциале».

Дж. Электрохим. Soc, 132 (1985), стр. 1804-1811.